

(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Publication of Patent Application (A)

(11) Publication Number of Patent Application: 6-188169

(43) Date of Publication of Application: July 8, 1994

(51) Int. Cl.5: Domestic Classification Symbol

H01L 21/027

G02B 27/28 A

G03F 7/20 521

G11B 5/127 D

G11B 5/31 M

Intraoffice Reference Number:

9120-2K

7316-2H

7303-5D

7352-4M

8947-5D

FI:

H01L 21/30 311 L

Technology Indication Field:

Request for Examination: Not made

Number of Claims: 46 (16 pages in total)

(21) Application Number: Patent Application 5-212198

(22) Application Date: August 4, 1993

(31) Priority Number: 4-247249

(32) Priority Date: August 24, 1992

(33) Priority Country: Japan

(71) Applicant: 000001007

Canon Inc.

30-2, Shimomaruko 3-chome, Ohta-ku, Tokyo

(72) Inventor: Yasuyuki Unno

c/o Canon Inc.,

30-2, Shimomaruko 3-chome, Ohta-ku, Tokyo

(74) Agent: Patent Attorney, Yukio Takanashi

(54) [Title of the Invention] IMAGING METHOD AND EXPOSURE  
APPARATUS USING THE METHOD AND DEVICE FABRICATING METHOD USING  
THE METHOD

(57) [Abstract]

[Object]

To provide an imaging method for projecting a pattern  
having a periodicity by a high resolution by using a light beam  
in an optimum polarized state and an exposure apparatus using  
the method.

[Constitution]

When a pattern having a periodicity on a reticle face  
is illuminated by a light beam from an illumination system and  
an image of the pattern is projected onto a wafer face by making  
diffracted light generated from the pattern incident on a pupil  
of a projection optical system, a light beam of linearly  
polarized light having a polarizing plane in a direction

substantially orthogonal to a direction in which a period of the pattern becomes the shortest is selected to project by a polarization apparatus.

[Claims]

[Claim 1]

An imaging method characterized in that a pattern in a line-like shape is imaged by a polarized beam polarized in a longitudinal direction of the pattern.

[Claim 2]

The imaging method according to Claim 1, characterized in that the pattern is illuminated by the polarized beam.

[Claim 3]

The imaging method according to Claim 1, characterized in that the pattern is illuminated by a beam which is not polarized, and the polarized beam is extracted from a beam from the pattern.

[Claim 4]

The imaging method according to Claim 1, 2 or 3, characterized in that imaging of the pattern is carried out substantially by two of diffracted beams from the pattern.

[Claim 5]

The imaging method according to Claim 4, characterized in that a beam for illumination is obliquely incident on the pattern.

[Claim 6]

The imaging method according to Claim 4, characterized in that the pattern includes a phase shifter.

[Claim 7]

A device fabricating method characterized in that a pattern in a line-like shape is focused on a work piece by a polarized beam polarized in a longitudinal direction of the line and a device is fabricated by transcribing the pattern on the work piece.

[Claim 8]

The device fabricating method according to Claim 7, characterized in that the pattern is illuminated by the polarized beam.

[Claim 9]

The device fabricating method according to Claim 7, characterized in that the pattern is illuminated by a nonpolarized beam, and the polarized beam is extracted from a beam from the pattern.

[Claim 10]

The device fabricating method according to Claim 7, characterized in that imaging of the pattern is carried out substantially by two of diffracted beams from the pattern.

[Claim 11]

The device fabricating method according to Claim 10, characterized in that a beam for illumination is obliquely incident on the pattern.

[Claim 12]

The device fabricating method according to Claim 10, characterized in that the pattern includes a phase shifter.

[Claim 13]

An exposure apparatus characterized in that a pattern in a line-like shape is illuminated by a polarized beam polarized in a longitudinal direction of the pattern by illuminating means, the pattern illuminated by the polarized beam from the illuminating means is projected onto a substrate by projecting means to be exposed thereby.

[Claim 14]

The exposure apparatus according to Claim 13, characterized in that the illuminating means makes the polarized beam obliquely incident on the pattern.

[Claim 15]

An exposure apparatus characterized in that a pattern in a line-like shape is illuminated by a nonpolarized beam by illuminating means, and the pattern illuminated by the nonpolarized beam from the illuminating means is projected onto a substrate by a polarized beam polarized in a longitudinal direction of the pattern by projecting means to be exposed thereby.

[Claim 16]

The exposure apparatus according to Claim 15, characterized in that the illuminating means makes the nonpolarized beam obliquely incident on the pattern.

[Claim 17]

An imaging method characterized in that a repeated

pattern is imaged by a polarized beam polarized in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of repetition is minimized.

[Claim 18]

The imaging method according to Claim 17, characterized in that the pattern is illuminated by the polarized beam.

[Claim 19]

The imaging method according to Claim 17, characterized in that the pattern is illuminated by a beam which is not polarized, and the polarized beam is extracted from a beam from the pattern.

[Claim 20]

The imaging method according to Claim 17, characterized in that the pattern includes a pattern comprising a line and a space.

[Claim 21]

The imaging method according to Claim 17, characterized in that the pattern includes a pattern in a dot-like shape.

[Claim 22]

The imaging method according to Claim 17, 18, 19, 20 or 21, characterized in that imaging of the pattern is carried out substantially by two of diffracted beams from the pattern.

[Claim 23]

The imaging method according to Claim 22, characterized in that a beam for illumination is obliquely incident on the

pattern.

[Claim 24]

The imaging method according to Claim 22, characterized in that the pattern includes a phase shifter.

[Claim 25]

A device fabricating method characterized in that a repeated pattern is imaged onto a work piece by a polarized beam polarized in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of the repetition is minimized, and a device is fabricated by transcribing the repeated pattern onto the work piece.

[Claim 26]

The device fabricating method according to Claim 25, characterized in that the pattern is illuminated by the polarized beam.

[Claim 27]

The device fabricating method according to Claim 25, characterized in that the pattern is illuminated by a nonpolarized beam, and the polarized beam is extracted from a beam from the pattern.

[Claim 28]

The device fabricating method according to Claim 25, characterized in that the pattern includes a pattern comprising a line and a space.

[Claim 29]



The device fabricating method according to Claim 25, characterized in that the pattern includes a pattern in a dot-like shape.

[Claim 30]

The device fabricating method according to Claim 25, 26, 27, 28 or 29, characterized in that imaging of the pattern is substantially carried out by two of diffracted beams from the pattern.

[Claim 31]

The device fabricating method according to Claim 30, characterized in that an illumination beam is obliquely incident on the pattern.

[Claim 32]

The device fabricating method according to Claim 30, characterized in that the pattern includes a phase shifter.

[Claim 33]

An exposure apparatus characterized in that a repeated pattern is illuminated by a polarized beam polarized in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of the repetition is minimized by illuminating means, and the pattern illuminated by the polarized beam from the illuminating means is projected onto a substrate by projecting means to be exposed thereby.

[Claim 34]

The exposure apparatus according to Claim 33,

characterized in that the illuminating means makes the polarized beam obliquely incident on the pattern.

[Claim 35]

An exposure apparatus characterized in that a repeated pattern is illuminated by a nonpolarized beam by illuminating means, and the pattern illuminated by the nonpolarized beam from the illuminating means is projected onto a substrate by a polarized beam polarized in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of repetition is minimized by projecting means to be exposed thereby.

[Claim 36]

The exposure apparatus according to Claim 35, characterized in that the illuminating means makes the nonpolarized beam obliquely incident on the pattern.

[Claim 37]

An image projecting method characterized in that a pattern having a periodicity is illuminated by a light beam of linearly polarized light in correspondence with a direction of a period of the pattern, and the pattern is projected onto a predetermined face by a projection optical system.

[Claim 38]

An image projecting method characterized in that a pattern having a periodicity is illuminated by a light beam of linearly polarized light having a polarized plane in a direction orthogonal to a direction of aligning the pattern,

and the pattern is projected onto a predetermined face by making diffracted light generated from the pattern incident on a pupil of a projection optical system.

[Claim 39]

An image projecting method characterized in that a pattern having a periodicity is illuminated by a light beam having a polarized plane in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period thereof is minimized by way of a polarization apparatus capable of emitting a light beam from an illumination system by arbitrarily changing a polarizing direction of linearly polarized light, and the pattern is made to be projected on a predetermined face by making diffracted light generated from the pattern incident on a pupil of a projection optical system.

[Claim 40]

An exposure apparatus characterized in that when a pattern having a periodicity on a reticle face is illuminated by a light beam from an illumination system, diffracted light generated from the pattern is made to be incident on a pupil of a projection optical system, and an image of the pattern is projected onto a wafer face, the pattern is illuminated by a light beam of linearly polarized light having a polarized plane in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of the pattern is minimized.

[Claim 41]

An image projecting method characterized in that when a pattern having a periodicity is illuminated, and the pattern is projected onto a predetermined face by a projection optical system, the pattern is projected by using a light beam of linearly polarized light in correspondence with a direction of a period of the pattern.

[Claim 42]

An image projecting method characterized in that when a pattern having a periodicity is illuminated, and diffracted light generated from the pattern is made to be incident on a pupil of a projection optical system to project the pattern onto a predetermined face, the pattern is projected by using a light beam of linearly polarized light having a polarized plane in a direction orthogonal to a direction of aligning the pattern.

[Claim 43]

An image projecting method characterized in that when a pattern having a periodicity is illuminated by a light beam from an illumination system, and diffracted light generated from the pattern is made to be incident on a pupil of a projection optical system to project the pattern onto a predetermined face, the pattern is projected by selecting a light beam having a polarized plane in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of the pattern becomes the shortest by a polarization apparatus.

[Claim 44]

An exposure apparatus characterized in that when a pattern having a periodicity on a reticle face is illuminated by a light beam from an illumination system, and diffracted light generated from the pattern is made to be incident on a pupil of a projection optical system to project an image of the pattern onto a wafer face, a light beam of linearly polarized light having a polarized plane in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of the pattern becomes the shortest is selected and projected by a polarization apparatus.

[Claim 45]

A semiconductor element fabricating method characterized in comprising a step of preparing a negative having a circuit pattern and a wafer, and a step of exposing to transcribe the circuit pattern of the negative onto the wafer by the method according to any one of Claims 37, 38, 39, 41, 42, 43.

[Claim 46]

A semiconductor element characterized in being fabricated by the fabricating method according to Claim 45.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Field of Application]

The present invention relates to an imaging method and

an exposure apparatus using the method and a device fabricating method using the method.

[0002]

The invention particularly relates to an imaging method and an exposure apparatus using the method and a device fabricating method using the method useful when respective devices of IC or LSI, CCD, a liquid crystal panel, a magnetic head and the like are fabricated.

[0003]

Further, the invention relates to an image projecting method and an exposure apparatus using the same capable of illuminating an electronic circuit pattern (pattern) having a small line width on a reticle or mask (hereinafter, referred to as "reticle") face by a pertinent light beam to be projected onto a wafer face by a high resolution in a stepper constituting a fabricating apparatus of a semiconductor element.

[0004]

[Prior Art]

Since a request for highly integrated formation of a semiconductor chip of IC, LSI or the like is promoted, various improvements are carried out for promoting a resolution of a so-to-speak stepper (reduction projection exposure apparatus) for subjecting a circuit pattern illuminated by an ultra violet ray to reduction projection to transcribe.

[0005]

In a prior art, as a method of promoting a resolution, there have been adopted a method of increasing a numerical aperture (NA) of a reduction projection lens system, a method of shortening a wavelength of exposure light and the like. Further, recently, other than the methods, there is proposed a method particularly effective for imaging a small pattern having a periodicity (repeated small pattern) such as a phase shift method or an oblique incidence illuminating method and the like.

[0006]

Imaging of a small pattern having a periodicity will be explained as follows.

[0007]

Fig. 32 is a graph showing a repeated pattern comprising 3 pieces of small slits, the abscissa of the graph designates a pattern position  $X$ , the ordinate designates an amplitude transmittance  $T$ . In the diagram, light is transmitted through a portion having a transmittance of 1, light is blocked by a portion having a transmittance of 0.

[0008]

When the repeated pattern having such an amplitude transmittance is illuminated by coherent light, incident light is divided into diffracted light of 0th-order, +1st-order, -1st-order, and other higher orders. Among them, what contributes to forming an image is only diffracted light

incident on a pupil of a projection optical system, and generally, diffracted light of 0th-order, +1st-order, -1st-order is incident on the pupil of the projection optical system.

[0009]

Fig. 33 is an explanatory diagram showing amplitudes of diffracted light of 0th-order,  $\pm$ 1st-order on the pupil. In the diagram, numerals 100, 101, 102 designate respectively peak positions of diffracted light of 0th-order, +1st-order, -1st-order, and notation IA designates an amplitude.

[0010]

Fig. 34 shows an intensity distribution of a pattern image formed by diffracted light of 0th-order,  $\pm$ 1st-order. The ordinate designates an intensity I. In normal focusing, when a line width of the pattern becomes very small and only diffracted light of 0th-order is incident on the pupil of the projection optical system, the image of the pattern is no longer formed.

[0011]

In contrast thereto, according to a phase shift method, when light transmits through the repeated pattern, by devising the pattern such that phases of diffracted light from contiguous slits are shifted from each other by 180 degrees, a diffracted light component of 0th-order is prevented from appearing on the pupil of the projection optical system, and



the image of the pattern is formed by diffracted light of  $\pm 1$ st-order and  $-1$ st-order.

[0012]

Fig. 35 shows an amplitude distribution produced on the pupil of the projection optical system when a repeated pattern comprising 3 pieces of small slits is projected by a phase shift method. In the drawing, numerals 103, 104 respectively designate peak positions of diffracted light components of  $\pm 1$ st-order,  $-1$ st-order. In this case, when a period of repeating the pattern stays the same, a distance between peak positions 103, 104 becomes a half of a distance between peak positions of diffracted light of  $\pm 1$ st-order in Fig. 33. When the phase shift method is used, a spatial frequency of the pattern can apparently be reduced, and therefore, diffracted light of  $\pm 1$ st-order from a smaller pattern is incident on the pupil. Therefore, a resolution is promoted.

[0013]

Although the amplitude distribution on the pupil of Fig. 33 shows a case in which light is incident from a direction orthogonal to a plane on which the pattern is drawn, it is an oblique incidence method that the position of the amplitude distribution on the pupil is shifted in a transverse direction by making a light obliquely incident on the plane.

[0014]

Fig. 36 is an explanatory diagram showing an amplitude

distribution on a pupil when light is made to be obliquely incident on a repeated pattern such that diffracted light of 0th-order and +1st-order is incident on the pupil. In the diagram, numerals 105, 106 respectively designate peak positions of diffracted light of 0th-order, +1st-order.

[0015]

When it is conceived to form an image by two beams of diffracted light shown in Fig. 36, even in the oblique incidence method, similar to the case of the phase shift method, diffracted light from a smaller pattern can reach the pupil, and the resolution is promoted.

[0016]

[Problems that the Invention is to Solve]

It becomes apparent from a result of a simulation carried out by the inventor that an effect of promoting a resolution by the phase shift method or the oblique incidence illumination method is considerably related to a polarized state of light when a pattern having a periodicity is illuminated. Therefore, there poses a problem that unless a polarized state of illuminating light is brought into a state optimum for a pattern, a significant promotion of a resolution is not achieved even by using the phase shift method, the oblique incidence illuminating method or the like.

[0017]

It is an object of the invention to provide an imaging

method and an exposure apparatus using the method and a method of fabricating a device by using the method preferably improved for imaging a small pattern.

[0018]

Further, it is an object of the invention to provide an image projecting method preferable for fabricating a semiconductor element and an exposure apparatus using the same in which when a pattern having a periodicity is projected onto a predetermined face by a projection optical system, by pertinently setting a polarized state of a light beam used for projection in correspondence with a direction of a period of the pattern, the pattern can be projected by high contrast while maintaining a high resolution. Further, it is an object thereof to provide a method of fabricating a semiconductor element having a high integrated degree.

[0019]

[Means for Solving the Problem and Operation]

(1-1) A first mode of the invention is characterized in that in an imaging method of imaging a pattern in a line-like shape, the pattern is imaged by a polarized beam polarized in a longitudinal direction of the pattern.

[0020]

(1-2) A second mode of the invention is characterized in that in a device fabricating method of imaging a pattern in a line-like shape onto a work piece, and transcribing the pattern

onto the work piece, the pattern is imaged by a polarized beam polarized in a longitudinal direction of the pattern.

[0021]

(1-3) A third mode of the invention is characterized that in an exposure apparatus for exposing a substrate by a pattern in a line-like shape, the exposure apparatus comprising means for illuminating the pattern by a polarized beam polarized in a longitudinal direction of the pattern and means for projecting the pattern illuminated by the illuminating means onto the substrate.

[0022]

(1-4) A fourth mode of the invention is characterized in that in an exposure apparatus for exposing a substrate by a pattern in a line-like shape, the exposure apparatus comprising illuminating means for illuminating the pattern by a nonpolarized beam and projecting means for projecting the pattern illuminated by the illuminating means onto the substrate by a polarized beam polarized in a longitudinal direction of the pattern.

[0023]

(1-5) A fifth mode of the invention is characterized in an imaging method of imaging a repeated pattern, the pattern is imaged by a polarized beam polarized in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of repetition is minimized.

[0024]

(1-6) A sixth mode of the invention is characterized in that in a device fabricating method of imaging a repeated pattern onto a work piece, and transcribing the repeated pattern onto the work piece, the pattern is imaged by a polarized beam polarized in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of repetition is minimized.

[0025]

(1-7) A seventh mode of the invention is characterized in that in an exposure apparatus for exposing a substrate by a repeated pattern, the exposure apparatus comprising illuminating means for illuminating the pattern by a polarized beam polarized in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of repetition is minimized and projecting means for projecting the pattern illuminated by the illuminating means onto the substrate.

[0026]

(1-8) An eighth mode of the invention is characterized in that in an exposure apparatus for exposing a substrate by a repeated pattern, the exposure apparatus comprising illuminating means for illuminating the pattern by a nonpolarized beam and means for projecting the pattern illuminated by the illuminating means onto the substrate by a polarized beam polarized in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of repetition is minimized.

[0027]

(1-9) According to the invention, when a pattern is illuminated by a polarized beam, a polarizer plate (film) is formed on a substrate formed with the pattern, a light source of a laser or the like for generating the polarized beam is provided, or the polarizer plate (film) is provided in an optical system for the illumination.

[0028]

Further, according to the invention, when a pattern illuminated by a nonpolarized beam is imaged by a polarized beam, a polarizer plate (film) is formed on a substrate of a mask or the like formed with the pattern, or the polarizer plate (film) is provided in an optical system for the imaging.

[0029]

According to a preferable mode of the invention, a polarizer plate (film) is constituted to be able to rotate around an optical axis of a system such that an azimuth of the polarizer plate (film) of the illumination optical system or an imaging optical system can be changed. By the constitution, a polarized beam polarized in a desired direction can be formed.

[0030]

According to other preferable mode of the invention, a half-wave plate (film) is provided in the illumination optical system or the imaging optical system, and the half-wave plate (film) is constituted to be able to rotate around an optical

axis of the system to be able to change an azimuth of an optical axis of the half-wave plate (film). A polarized beam polarized in a desired direction can be formed by the constitution.

[0031]

Further, according to the invention, when patterns different from each other are formed on a substrate, longitudinal directions of the patterns differ from each other, or directions in which periods of repeating the patterns are minimized (minimum period direction) differ from each other, the respective patterns are imaged by polarized beams in correspondence with longitudinal directions or/and directions orthogonal to the minimum period directions of the respective patterns.

[0032]

When such an imaging is simultaneously carried out, nonpolarized beams are supplied in a state of providing polarizer plates (film) in correspondence with the respective patterns for the respective patterns, or in a state of providing a half-wave plate (film) for generating polarized light in correspondence with other pattern or patterns other than one pattern, a polarized beam in correspondence with the one pattern is supplied. The polarizer plate (film) or the half-wave plate (film) may be provided at least one of a light incidence side or a light emittance side of the pattern.

[0033]

When such an imaging is successively carried out, an illumination optical system or an imaging optical system is constituted as in the above-described preferable mode, and polarized beams in correspondence with the respective patterns are generated.

[0034]

According to a preferable mode of the invention, the pattern is illuminated by an illumination beam from an oblique direction, or a phase shifter is supplied to the pattern, and imaging is carried out substantially by two of diffracted beams from the pattern.

[0035]

(1-10) An imaging projection method of the invention is characterized in

(1-10-a) that a pattern having a periodicity is illuminated by a light beam of linearly polarized light in correspondence with a direction of a period of the pattern, the pattern is projected onto a predetermined face by a projection optical system.

[0036]

(1-10-b) characterized in that a pattern having a periodicity is illuminated by a light beam of linearly polarized light having a polarized plane in a direction orthogonal to a direction of aligning the pattern, diffracted light generated from the pattern is made to be incident on a pupil of a



projection optical system, the pattern is projected onto a predetermined face.

[0037]

(1-10-c) characterized in that a pattern having a periodicity is illuminated by a light beam having a polarized plane in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period thereof becomes the shortest by way of a polarization apparatus capable of emitting a light beam from an illumination system by arbitrarily changing a polarizing direction of linearly polarized light, diffracted light generated from the pattern is made to be incident on a pupil of a projection optical system, the pattern is projected onto a predetermined face.

[0038]

(1-10-d) characterized in that when a pattern having a periodicity is illuminated, and the pattern is projected onto a predetermined face by a projection optical system, the pattern is projected by using a light beam of linearly polarized light in correspondence with a direction of a period of the pattern.

[0039]

(1-10-e) characterized in that when a pattern having a periodicity is illuminated, the pattern is projected onto a predetermined face by making diffracted light generated from the pattern incident on a pupil of a projection optical system, the pattern is projected by using a light beam of linearly

polarized light having a polarized plane in a direction orthogonal to a direction of aligning the pattern.

[0040]

(1-10-f) characterized in that when a pattern having a periodicity is illuminated by a light beam from an illumination system, and the pattern is projected onto a predetermined face by making diffracted light generated from the pattern onto a pupil of a projection optical system, the pattern is projected by selecting a light beam having a polarized plane in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of the pattern becomes the shortest by a polarization apparatus.

[0041]

(1-11) Further, an exposure apparatus of the invention is characterized in

(1-11-a) that when a pattern having a periodicity on a reticle face is illuminated by a light beam from an illumination system, and an image of the pattern is projected onto a wafer face by making diffracted light generated from the pattern incident on a pupil of a projection optical system, the pattern is illuminated by a light beam of linearly polarized light having a polarized plane in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of the pattern becomes the shortest.

[0042]

(1-11-b) that when a pattern having a periodicity on a reticle face is illuminated by a light beam from an illumination system, and an image of the pattern is projected onto a wafer face by making diffracted light generated from the pattern incident on a pupil of a projection optical system, the image is projected by selecting a light beam of linearly polarized light having a polarized plane in a direction substantially orthogonal to a direction in which a period of the pattern becomes the shortest by a polarization apparatus.

[0043]

[Embodiment]

First, before explaining respective embodiments of the invention, an explanation will be given of a so-to-speak scalar diffraction theory used in a simulation of a general imaging characteristic, and a theory used by the inventors for a simulation and more accurate than the scalar diffraction theory.

[0044]

According to the scalar diffraction theory, when a pattern of an object is illuminated, a Fourier transformation image of the pattern is formed on a pupil of a projection optical system, the Fourier transformation image is subjected again to Fourier transformation within a range of a numerical aperture (NA) of a projection optical system, and a pattern image of an amplitude distribution present on an image face

is formed. When this is expressed by an equation, an amplitude  $A(x, y)$  at a point  $(x, y)$  on the image face can be written as follows.

[0045]

[Equation 1]

$$A(x, y) = \iint F(U(x_1, y_1)) \exp\{ik(\alpha x + \beta y)\} d\alpha d\beta$$

In the equation,  $F(U(x_1, y_1))$  is Fourier transformation of an amplitude transmittance  $U(x_1, y_1)$  of the pattern, and the Fourier transformation is subjected again to Fourier transformation within a range of a pupil plane determined by the numerical aperture of the projection optical system. Incidentally,  $(\alpha, \beta)$  in the equation designate coordinates on the pupil plane, and  $F(U(x_1, y_1))$  becomes a function of  $(\alpha, \beta)$ .

[0046]

Although the equation is an equation when illuminating light is coherent, even when illuminating light is partially coherent, the equation stays basically the same although the equation becomes more or less complicated.

[0047]

Although in a simulation using the above-described equation, it becomes apparent by an investigation carried out by the inventors that although a correct result is provided when the numerical aperture of the projection optical system is small, a number of problems are posed when the numerical

aperture becomes large.

[0048]

A first problem of the above equation resides in that a polarized state of incident light is not take into consideration. This will be explained in reference to the drawings. The example of the repeated pattern comprising 3 pieces of slits will be used for the explanation.

[0049]

Fig. 26 draws the amplitude distribution on the pupil shown in Fig. 33 on a reference spherical face 111 constituting a reference by a Gaussian image point 110 of a projection optical system. When wave front aberration of the projection optical system is disregarded, an amplitude at point 110 on an image face 112 is determined by integrating an amplitude on the reference spherical face 111, further, an amplitude at a point shifted from the point 110 by a distance  $x$  on the image face 112 is determined from the distance  $x$  and coordinates on the reference spherical face 111, or calculated by integrating an amplitude on the reference spherical face 111 in consideration of a phase difference.

[0050]

From now on, to simplify the explanation, a discussion is limited to calculation of the amplitude at point 110. Further, the coordinate axes will be defined here.

[0051]

As shown by Fig. 26, an optical axis is defined as z axis, an axis orthogonal to z axis in paper face is defined as x axis and an axis in a direction orthogonal to paper face is defined as y axis. According to a way of thinking by the above-described scalar diffraction theory, the amplitude at point 110 is calculated in the form of adding an amplitude on the reference spherical face 111 as it is.

[0052]

There is polarization in light, for example, even beams of completely coherent light do not interfere with each other completely when polarizing directions thereof differ from each other, when the beams are, for example, orthogonal to each other, interference therebetween is not brought about at all.

[0053]

Assuming that a longitudinal direction of slits constituting a repeated pattern is in parallel with y axis, and the repeated pattern is provided with a period in an x axis direction, when the slits are illuminated by light from a direction in parallel with z axis, an amplitude distribution of Fig. 26 is formed on the reference spherical face 111. Assuming that illuminating light is constituted by linearly polarized light polarized in a y axis direction (direction in parallel with the slits), and a change in a polarized direction can be disregarded within the projection optical system, also polarizing directions at the respective points of the

amplitude distribution become the y axis direction at all of positions similar to the illumination light.

[0054]

Assuming that the amplitude distribution on the reference spherical face 111 is formed only by light of light diffracted by the slits which is polarized in the y axis direction, all of the polarizing direction of light reaching the image face 112 becomes the same. Also in this case, the amplitude at point 110 is calculated by integrating the amplitude on the reference spherical face 111 as it is.

[0055]

On the other hand, when illuminating light is linearly polarized light polarized in the x axis direction (direction orthogonal to the slits), as shown by Fig. 27, in a case of considering representative light rays 120 through 124 directed from the reference spherical face 111 to point 110, from a condition that a polarizing direction and a direction of advancing light are orthogonal to each other, polarizing directions of the light rays 120 through 124 respectively become as shown by arrow marks 125 through 129 of the drawing. Polarization in this case is provided with two x, z, polarization components, and it is necessary to consider the amplitude at point 110 for respective polarization components. An intensity of light at point 110 becomes a total of intensities provided from amplitudes by the respective

polarization components.

[0056]

Next, a result of carrying out a simulation by applying the way of thinking will be explained. First, in imaging using diffracted light components of 0th-order, +1st-order, -1st-order explained in reference to Fig. 33, final intensity distributions provided for two polarizing directions of illuminating light, that is, by which direction of the x axis direction and the y axis direction of polarization components is used in light diffracted from the slits respectively become as shown by Fig. 28, Fig. 29.

[0057]

Fig. 28 shows a case in which the polarizing direction of the illumination light is in parallel with the slits, and the image is formed only by the polarization component in the y axis direction. On the other hand, Fig. 29 shows a case in which the polarizing direction of the illumination light is orthogonal to the slits, and the image is formed as a total of the x polarization component and the z polarization component.

[0058]

There is shown imaging using two of diffracted light in three of diffracted light of 0th-order, +1st-order, -1st-order evaluated by a similar simulation as in a phase shift method or an oblique incidence illuminating method as follows.



[0059]

When only a result of an intensity distribution on the image face is shown, in a case in which the polarization direction of the illumination light is in the y axis direction (in parallel with the slits), an intensity distribution shown in Fig. 30 is constituted, in a case in which the polarizing direction is in the x axis direction (orthogonal to the slits), an intensity distribution shown in Fig. 31 is constituted.

[0060]

Here, a contrast of the image is considerably poorer in the case in which the polarizing direction is orthogonal to the slits than in the case in which the polarizing direction is in parallel with the slits owing to an influence of the polarization component in the z direction. In normal exposure, the illumination light is brought into a nonpolarized state, and therefore, the intensity distribution is constituted by averaging the intensity distributions of Fig. 30, Fig. 31, however, also in this case, the contrast is deteriorated in comparison with that of the intensity distribution of Fig. 31.

[0061]

In this way, it becomes apparent from the highly accurate simulation carried out by the inventors that the polarizing direction of the illumination light effects a significant influence on the imaging characteristic.

[0062]

Particularly, when the phase shift method, or the oblique incidence illuminating method is applied for promoting a resolution, by pertinently controlling the polarizing direction of the illumination light for a pattern having a periodicity to be projected, a resolution more than expected is achieved.

[0063]

The above-described is a result of the simulation with regard to the imaging characteristic carried out by the invention.

[0064]

Respective embodiments of the invention will be explained as follows.

[0065]

Fig. 1 is an outline view of an essential portion of embodiment 1 when an image projecting method of the invention is applied to a stepper (step and repeat type projection exposure apparatus) for fabricating a device of a semiconductor element or CCD or a liquid crystal panel or a magnetic head or the like.

[0066]

In the drawing, numeral 1 designates a light source of an ultra high pressure mercury lamp or the like. Light emitted from the light source 1 is made to be uniform in a light amount distribution thereof by an optical integrator 2, and

illuminates a pattern (circuit pattern) 4a on a face of a reticle 4 by an illumination lens 3 by way of an aperture 8 and a polarization apparatus 9. Light diffracted by the pattern 4a of the reticle 4 is made to be incident on a projection lens 5, and forms an image of the pattern 4a on a semiconductor wafer 6 mounted on a stage 7 by way of the projection lens 5.

[0067]

Here, according to light emitted from the optical integrator 2, all thereof does not reach the illumination lens 3, but only a portion thereof suitable for illumination is selected by the aperture 8 constituting an aperture stop placed to be proximate to the optical integrator 2, and when selected light transmits through the polarization apparatus 9, a polarized state is converted from a state of circularly or elliptically polarized light or nonpolarized light into linearly polarized light. The polarization apparatus 9 can change a polarizing direction of linearly polarized light in accordance with a condition of a direction of repeating the pattern 4a or the like.

[0068]

The reticle 4 is drawn with the circuit pattern 4a having a small line width for being transcribed onto the semiconductor wafer 6, and illuminating light incident on the reticle 4 by way of the illumination lens 3 transmits through the reticle

4 in accordance with the circuit pattern 4a. A photosensitive material of a resist or the like is coated on the semiconductor wafer 6, where an image of the circuit pattern 4a can be transcribed.

[0069]

The projecting lens 5 projects the image of the circuit pattern 4a on the reticle 4 onto the semiconductor wafer 6 by reducing the image by a predetermined magnification (generally,  $1/5$  or  $1/10$ ). At that occasion, the reticle 4 and the semiconductor wafer 6 are adjusted to a predetermined positional relationship by driving the stage 7. When exposure to a certain shot on the semiconductor wafer 6 has been finished, the semiconductor wafer 6 is moved by a predetermined amount in a horizontal direction by the stage 7, where exposure of other shot on the semiconductor wafer 6 is repeated to carry out.

[0070]

According to the embodiment, as the circuit pattern 4a on the reticle 4, there is used a repeated pattern aligned with 5 pieces of slits extended in y direction shown in Fig. 2 in x direction and having a periodicity in x direction. In the drawing, numerals 10 through 14 designate openings, surroundings of the openings 10 through 4 are constituted by a light blocking portion, and light transmits through only the portions. Further, a dashed and dotted line 15 is a reference

line drawn in a direction of repeating the openings 10 through 14 in the slit-like shape (x-direction) and is used in later explanation.

[0071]

Here, a contrast of the image is promoted by illuminating the reticle 4 by a light beam in which a main light ray is inclined from a vertical direction relative to the reticle 4.

[0072]

Fig. 3 is a sectional view along the one-dotted chain line 15 of the pattern 4a of Fig. 2. As directions of inclining light beams 20, 21 by oblique incidence illumination method, as shown by Fig. 3, the main light ray of the light beam is made to be oblique in ZX plane repeating the pattern 4a. In order to satisfy the condition, according to the embodiment, the opening of the aperture 8 is constituted as shown by Fig. 4. Further, x axis is directed in a direction in which a period of repeating the pattern 4a is minimized.

[0073]

In Fig. 4, a hatched portion 22 is a light blocking region blocking light such that light does not pass therethrough. Two circular openings 23, 24 are light transmitting regions, and light from the regions 23, 24 contributes to imaging the pattern 4a. In the drawing, numeral 25 designates a reference line drawn to pass centers of the circular openings 23, 24.

[0074]

Illuminating light selected by the aperture 8 of Fig. 1 is made to be incident on the polarization apparatus 9. As shown by Fig. 5, the polarization apparatus 9 is constituted by a structure of transmitting only polarized light in y direction shown by an arrow mark 26 in the drawing in a polarized light component of light incident from an upper face of the polarization apparatus 9 and blocking polarized light in other direction. A dashed and dotted line 27 in the drawing is a reference line drawn in a direction orthogonal to the arrow mark 26. Arrangement of the reticle 4, the aperture 8, and the polarization apparatus 9 of Fig. 1 in horizontal planes is set such that the reference lines 15, 25, 27 respectively shown in Figs. 2, 4, 5 are in parallel with each other.

[0075]

By the above-described constitution, by imaging and baking the pattern 4a such that the polarizing direction of the oblique incidence illuminating light is constituted by y direction in parallel with the slit direction of the pattern 4a, that is, the polarizing direction is made to be orthogonal to x direction in which the period of repeating the pattern 4a is minimized, as explained in reference to Fig. 30, the image having the high resolution and the high contrast is provided on the semiconductor wafer 6. A similar effect is achieved also in a case of a repeated pattern on a dot as the pattern on the reticle 4.

[0076]

Next, in the embodiment, an explanation will be given of a case in which the pattern 4a on the reticle 4 is not only constituted by a single pattern having a periodicity in one direction as shown by Fig. 2, but the pattern 4a is provided with two patterns respectively having periodicities in two vertical and horizontal directions (y, x) as shown by Fig. 6.

[0077]

In this case, a repeated pattern of a portion surrounded by a broken line 30 of Fig. 6 can excellently be projected and transcribed by using the above-described method. However, with regard to a repeated pattern of a portion surrounded by a broken line 31, a polarizing direction of illuminating light is in a direction orthogonal to the slit, and therefore, a similar effect is not achieved.

[0078]

Hence, according to the embodiment, the reticle of Fig. 6 is split into two sheets of reticles shown in Fig. 7 and Fig. 8 to be exposed separately. That is, with regard to the pattern of Fig. 7, as described above, baking is carried out by linearly polarized light polarized in y direction, with regard to the pattern of Fig. 8, baking is carried out after rotating the aperture 8 and the polarization apparatus 9 by 90 degrees centering on an optical axis in a horizontal face to be fixed by a driving apparatus, not illustrated, such that

illuminating light is obliquely incident on the reticle in a plane of repeating the pattern, and the polarizing direction of the illumination light is in a direction in parallel with a longitudinal direction of the slit, that is, the illumination light becomes linearly polarized light polarized in x direction. The method is not limited to the case in which the pattern of the slit is in the two vertical and horizontal directions but is similarly applicable also to a case in which the pattern is in other direction.

[0079]

Further, when two kinds of repeated patterns are present in one reticle as shown by Fig. 6, respective patterns are successively illuminated by using a masking blade provided at a location conjugate with the reticle, and the respective patterns are illuminated by polarized light by the above-described method.

[0080]

Although according to the embodiment, an explanation has been given such that the pattern on the reticle is formed by 5 pieces of lines and spaces, the embodiment is similarly applicable also to a line and a space pattern of other than 5 pieces. Further, a ratio of widths of the line and the space is not limited to 1 to 1 but the invention is similarly applicable also to a case in which a period of a pattern becomes irregular to some degree.



[0081]

Further, according to the embodiment, the polarization apparatus 9 may be arranged between the illumination lens 3 and the reticle 4 or between the reticle 4 and the projecting lens 5 or at inside of the projection lens 5 (on pupil plane).

[0082]

When the projection apparatus 9 is arranged between the reticle 4 and the projection lens 5, in diffracted light diffracted by the pattern 4a in accordance with the shape of the pattern on the reticle 4 by the polarization apparatus 9, polarized light polarized in a specific direction is selected, and only the selected polarized light beam is made to be incident on the projection lens 5. Further, the image of the pattern 4a is projected onto the wafer 6 by the polarized light beam.

[0083]

Next, embodiment 2 of the invention will be explained. An apparatus constitution of embodiment 2 is substantially the same as that of embodiment 1 of Fig. 1. A point of embodiment 2 which differs from embodiment 1 resides in that the phase shift method is applied to the pattern on the reticle 4.

[0084]

Fig. 9 is an explanatory view of the pattern 4a on the reticle 4 of the embodiment. Although as shown by the drawing, the pattern 4a is constituted by 5 pieces of openings 40 through

44 in a slit-like shape extended in y direction similar to embodiment 1 of Fig. 1, the pattern of Fig. 9 is characterized in providing a phase shifter for changing a phase of light transmitting through hatched portions 40, 42, 44 by 180 degrees relative to light transmitting through portions 41, 43.

[0085]

Further, according to the embodiment, there is used a shape of the aperture 8 by which only light from an opening of a circular portion 46 at a center surrounded by a light blocking portion of a hatched portion 45 can be transmitted as shown by Fig. 10.

[0086]

According to the embodiment, the pattern 4a and the aperture 8 are combined with the polarization apparatus 9 similar to that of embodiment 1, and a polarizing direction of illuminating light becomes a direction in parallel with a longitudinal direction of the slit (y direction) relative to the pattern 4a in Fig. 9. Thereby, an excellent pattern is baked by using the phase shift method.

[0087]

Further, even in a case in which the pattern 4a on the reticle 4 is not constituted by one kind as shown by Fig. 9 but a plurality of kinds repeated in directions different from each other as in Fig. 6, the case can be dealt with by carrying out baking by using a plurality of sheets of reticles for

respective patterns in the same direction or splitting the reticle by using a masking blade similar to embodiment 1.

[0088]

Next, embodiment 3 of the invention will be explained. Also an apparatus constitution of embodiment 3 is substantially the same as that of embodiment 1 of Fig. 1.

[0089]

According to the embodiment, the pattern 4a on the reticle 4 shown in Fig. 11 is used. In Fig. 11, numeral 4 designates the reticle, and a coordinates system thereof is determined such that an xy face is in parallel with the reticle 4 and z axis is orthogonal to the reticle 4 similar to the above-described respective embodiments. In Fig. 11, numerals 210 through 214 designate slit-like opening portions of pattern A, the opening portions 210 through 214 constitute a repeated pattern in x direction shown by an arrow mark 215.

[0090]

Similarly, numerals 220 through 224 designates slit-like opening portions of pattern B, opening portions 220 through 224 constitute a repeated pattern in y direction shown by an arrow mark 225. The phase shift method is applied to respective of pattern A, pattern B. Details of patterns A, B applied with the phase shift method will be explained in reference to Fig. 12.

[0091]

Fig. 12 draws a section along the arrow mark 215 with regard to pattern A shown in Fig. 11. In Fig. 12, numeral 230 designates a transparent glass substrate, a hatched portion 231 is a light blocking portion comprising chromium. The period pattern A is formed by the light blocking portion 231 and the opening portions 210 through 214. The phase shift method promotes a resolution of an imaging system by changing phases of light transmitting through the opening portions by 180 degrees each between the contiguous opening portions, and numerals 32 through 34 in Fig. 12 designate phase shifters for changing phases of light transmitting therethrough by 180 degrees.

[0092]

Also with regard to the period pattern B, a sectional view along the arrow mark 225 becomes similar to Fig. 12. In imaging the pattern by applying the phase shift method, illumination may be carried out from a direction orthogonal to the reticle 4 (z direction), and therefore, as shown by Fig. 13, there is used the aperture 8 in which a hatched portion 240 at a periphery constitutes an opening portion and a center 241 constitutes an opening.

[0093]

The embodiment is applied with the polarization apparatus 9 shown in Fig. 14. The polarization apparatus 9 is constituted to transmit only polarized light in y direction

indicated by a double arrow mark 50 in Fig. 14 in light incident thereon. That is, illuminating light of a stepper according to the embodiment becomes linearly polarized light having a polarized plane in the y axis direction after transmitting through the polarization apparatus 9.

[0094]

When the pattern 4a on the reticle 4 is illuminated by the above-described constitution, a relationship between patterns A, B and a polarizing direction of illuminating light becomes as shown by Fig. 15 and Fig. 16. That is, with regard to pattern A, as shown by Fig. 15, a polarizing direction 60 becomes in parallel with a longitudinal direction of a slit constituting the pattern, and this satisfies a condition of promoting a resolution as described above.

[0095]

On the other hand, with regard to pattern B, as shown by Fig. 16, a polarizing direction 61 becomes orthogonal to a longitudinal direction of the slit constituting the pattern, the resolution cannot be improved in pattern B as in pattern A when the constitution is as it is.

[0096]

Hence, according to the embodiment, by rotating a polarizing plane of a linearly polarized light beam incident on the pattern B by 90°, the pattern B is made to be illuminated by the linearly polarized light beam in a direction in parallel

with the slit of the pattern B.

[0097]

Fig. 17 is a plane view of the reticle 4 showing pattern A, pattern B similar to Fig. 11, however, the reticle 4 of Fig. 17 is characterized in that a polarization converting apparatus 70 for rotating a polarized plane of a linearly polarized light beam incident on immediately frontward from pattern B by  $90^\circ$  is polarized. As the polarization converting apparatus 70, for example, a half-wave plate is applicable. A behavior of rotating the polarized plane when the half-wave plate is applied will be explained in reference to Fig. 24.

[0098]

In Fig. 18, when a direction of an optical axis 82 of a polarization converting apparatus (here, a half-wave plate) is arranged to constitute an angle of 45 degrees relative to x axis for a linearly polarized light beam advancing in a direction of an arrow mark 80 and polarized in a direction of a double arrow mark 81 (y direction), a light beam after transmitting through the polarization converting apparatus 70 advances in a direction of an arrow mark 83 and is converted into a linearly polarized light beam polarized in the x axis direction as shown by a double arrow mark 84.

[0099]

By arranging the polarization converting apparatus 70 immediately before pattern B, a relationship between pattern

B and a polarizing direction of an illumination light beam becomes as shown by Fig. 19. That is, a direction of polarization indicated by a double arrow mark 90 is brought into a relationship of being in parallel with the slit constituting pattern B, and therefore, promotion of the resolution similar to that of pattern A can be realized also for pattern B.

[0100]

When an optical substance having an optical rotary power is applied as the polarization converting apparatus 70, a magnitude of rotating a polarized plane of a linearly polarized light beam can be controlled by a thickness of the polarization converting apparatus 70, in that case, an angle of rotating the polarized plane of the linearly polarized light beam can be set to a value other than 90 degrees by controlling the thickness, and therefore, the resolution can be promoted for repeated patterns in various directions.

[0101]

Although according to the embodiment, an explanation has been given such that the phase shift method is applied to the pattern to be illuminated, even when the oblique incidence illuminating method is used, the method is naturally applicable.

[0102]

There is a modified example of forming the polarization

apparatus 9 on a surface or a rear face of the reticle 1 in the above-described respective embodiments.

[0103]

Fig. 20 is an outline view of an essential portion of embodiment 4 when the image projecting method of the invention is applied to a stepper for fabricating a semiconductor element. Elements the same as elements shown in Fig. 1 are attached with the same notations.

[0104]

In Fig. 20, the light source 1, the optical integrator 2, the illumination lens 3, the reticle 4, the projection lens 5, the semiconductor wafer 6, the stage 7 and the like are respectively similar to those of Fig. 1, and therefore, an explanation thereof will be omitted here.

[0105]

A point of embodiment 4 which differs from embodiments 1 through 3 resides in a position in an optical path installed with a polarization apparatus. The embodiment is constructed by a constitution of arranging a polarization apparatus 59 immediately before a reticle 54 (between the illuminating lens 3 and the reticle 54) and controlling a polarized state of light incident on the reticle 54 immediately before the reticle 54.

[0106]

Here, a pattern 54a on the reticle 54 according to the embodiment is constituted by a repeated pattern constituted



by slits 60 through 64 extended in a vertical direction (y direction) and a repeated pattern constituted by slits 65 through 69 extended in a horizontal direction (x direction) as shown by Fig. 21. In order to promote a resolution for the patterns in the vertical and the horizontal directions by oblique incidence illumination, the opening of the aperture 8 may be constituted as shown by Fig. 22.

[0107]

In a hatched portion 70 in Fig. 22, circular opening portions 71 through 74 provided at four corners of a light blocking portion constitute light transmitting portions, and light from the openings 71 through 74 is made to be obliquely incident on the reticle 4.

[0108]

According to the embodiment, the polarization apparatus 59 is arranged such that a polarizing direction of light incident on the pattern 54a becomes always in parallel with a longitudinal direction of the slit for an oblique incidence illuminating method.

[0109]

Notations 59a, 59b in Fig. 21 designate polarizing members for transmitting only linearly polarized light polarized in a certain one direction in incident light, the polarizing member 59a is installed to transmit only polarized light polarized in a direction in parallel with a longitudinal

direction of the slits 60 through 64 (y direction) in incident light.

[0110]

On the other hand, the polarizing member 59b is arranged to transmit only polarized light polarized in a direction in parallel with a longitudinal direction of the slits 65 through 69 (x direction). As the polarization apparatus 59, an apparatus in which a polarizer in a shape of a thin film is pasted on the reticle 54 by determining a polarizing axis direction in accordance with the pattern in correspondence therewith or the like is applicable.

[0111]

Although according to the embodiment, the pattern 54a on the reticle 54 having the slits extended in two vertical and horizontal directions has been explained, the embodiment is similar applicable to a pattern having a slit extended in the other direction.

[0112]

Further, according to the embodiment, the polarization apparatus 9 may be arranged immediately after the reticle 54 (between the reticle 54 and the projection lens 55).

[0113]

At this occasion, the polarization apparatus 9 is made to be able to select polarized light polarized in longitudinal directions of slits independently respectively for slits in

respective directions in light diffracted from the slits even when there are slits extended in various directions on the reticle 54, further, imaging is carried out by the polarized light.

[0114]

Next, embodiment 5 of the embodiment will be explained. An apparatus constitution of embodiment 5 is substantially the same as that of embodiment 1 of Fig. 1. Embodiment 5 differs from embodiment 4 in that the phase shift method is applied to a pattern on the reticle 4.

[0115]

Fig. 23 is an explanatory view of a pattern 54a on a face of a reticle 54 according to the embodiment. Although the pattern on the reticle 54 shown in the drawing is constituted by slits 80 through 84 extended in the vertical direction (y direction), and slits 85 through 89 extended in the horizontal direction (x direction) similar to the pattern of Fig. 21, the embodiment differs therefrom in providing a phase shift member for changing a phase of light transmitting through hatched portions 80, 82, 84, 85, 87, 89 among the slits in the drawing relative to light transmitting through portions 81, 83, 86, 88 by 180 degrees.

[0116]

Notations 59a, 59b designate polarizing members, and when circularly or elliptically polarized light or

nonpolarized light is made to be incident on the reticle 54, only polarized light of the light polarized in a longitudinal direction of the slit is made to be incident thereon. Further, there is used the aperture 8 shown in Fig. 13 similar to the case of embodiment 2.

[0117]

According to the embodiment, by the above-described constitution, promotion of the resolution is achieved by the phase shift method, and even when there are patterns in vertical and horizontal directions on the reticle 54, the patterns are imaged on the semiconductor wafer 6 by polarized light suitable for the respective patterns.

[0118]

Although here, an explanation has been given of the pattern on the reticle 54 having the slits extended in two vertical and horizontal directions, the embodiment is applicable to a pattern having a slit extended in the other direction.

[0119]

Although here, there is shown a case of forming the patterns on the reticle by 5 pieces of lines and spaces as an example, the embodiment is similarly applicable to line and space patterns of other than 5 pieces. Further, a ratio of widths of a line and a space is not limited to 1 to 1 but the embodiment is applicable similarly also to a case in which a

periodicity of a pattern becomes irregular to some degree.

[0120]

Further, a laser emitting linearly polarized light may be made to constitute a light source for exposure without using a lamp and a polarization apparatus. Further, when a polarized apparatus is used or when a laser is used, a half-wave plate may be put into an optical path, and desired polarized light may be produced by rotating the half-wave plate.

[0121]

Next, an embodiment of a device fabricating method utilizing the exposure apparatus explained above will be explained. Fig. 24 shows a flow of fabricating a semiconductor element (a semiconductor chip of IC, LSI or the like, or a liquid crystal panel or CCD or the like).

[0122]

At step 1 (circuit design), a circuit of a semiconductor element is designed. At step 2 (mask fabrication), a mask formed with a designed circuit pattern is fabricated.

[0123]

On the other hand, at step 3 (wafer fabrication), a wafer is fabricated by using a material of silicon or the like. Step 4 (wafer process) is referred to as prestep, and a circuit of the embodiment is formed on the wafer by a lithography technology by using the prepared mask and wafer.

[0124]

Next, step 5 (integration) is referred to as poststep, and is a step of forming a semiconductor chip by using the wafer formed by step 4, and includes steps of assembly step (dicing, bonding), packaging step (chip seal in) and the like. At step 6 (inspection), there is carried out an inspection of operation confirm test, durability test or the like of the semiconductor element fabricated by step 5. After having been processed by the steps, the semiconductor element is finished and the semiconductor element is delivered (step 7).

[0125]

Fig. 25 shows a detailed flow of the wafer process.

[0126]

At step 11 (oxidation), a surface of the wafer is oxidized. At step 12 (CVD), an insulating film is formed on the surface of the wafer. At step 13 (electrode formation), an electrode is formed on the wafer by vapor deposition. At step 14 (ion implantation), ions are implanted to the wafer. At step 15 (resist process), the wafer is coated with photosensitive reagent. At step 16 (exposure), a circuit pattern of the mask is baked to expose to the wafer by the above-described exposing apparatus. At step 17 (development), the exposed wafer is developed. At step 18 (etching), a portion other than the developed resist image is scraped off. At step 19 (resist exfoliation), the unnecessary resist finished with etching is removed. By repeatedly carrying out the steps, the circuit

pattern is formed in multiple on the wafer.

[0127]

When the fabricating method of the embodiment is used, a semiconductor element of a highly integrated degree which has been difficult to be fabricated in the prior art can be fabricated.

[0128]

[Advantage of the invention]

According to the invention, by setting respective elements as described above, there can be achieved the exposure apparatus and the method of fabricating the device by using the method which are improved preferably for imaging the small pattern.

[0129]

Further, according to the invention, when the pattern having the periodicity is projected onto a predetermined face by the projection optical system, by pertinently setting the polarized state of the light beam used for projection in correspondence with the direction of the period of the pattern, there can be achieved the image projecting method and the exposure apparatus, and the fabricating method preferable for fabricating the semiconductor element capable of projecting the pattern by a high contrast while maintaining the high resolution.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1]

Fig. 1 is an outline view of an essential portion of embodiment 1 when an image projecting method of the invention is applied to a steeper.

[Fig. 2]

Fig. 2 is an explanatory view of an reticle of Fig. 1.

[Fig. 3]

Fig. 3 is an explanatory view showing a behavior of illuminating light to the reticle of Fig. 1.

[Fig. 4]

Fig. 4 is an explanatory view of an aperture of Fig. 1.

[Fig. 5]

Fig. 5 is an explanatory view of a polarization apparatus of Fig. 1.

[Fig. 6]

Fig. 6 is an explanatory view of other embodiment of the reticle of Fig. 1.

[Fig. 7]

Fig. 7 is an explanatory view of a portion of Fig. 6.

[Fig. 8]

Fig. 8 is an explanatory view of a portion of Fig. 6.

[Fig. 9]

Fig. 9 is an explanatory view of a reticle according to embodiment 2 of the invention.

[Fig. 10]



Fig. 10 is an explanatory view of an aperture according to embodiment 2 of the invention.

[Fig. 11]

Fig. 11 is a view showing a pattern on a reticle.

[Fig. 12]

Fig. 12 is a view showing a section of the pattern on the reticle of Fig. 11.

[Fig. 13]

Fig. 13 is a view showing an aperture according to embodiment 3 of the invention.

[Fig. 14]

Fig. 14 is a view showing a polarization apparatus according to embodiment 3 of the invention.

[Fig. 15]

Fig. 15 is a view showing a relationship between the pattern of Fig. 11 and polarization of illuminating light.

[Fig. 16]

Fig. 16 is a view showing a relationship between the pattern of Fig. 11 and polarization of illuminating light.

[Fig. 17]

Fig. 17 is a view showing a pattern on a reticle according to embodiment 3 of the invention.

[Fig. 18]

Fig. 18 is a view showing an operation of polarization converting apparatus according to embodiment 3 of the

invention.

[Fig. 19]

Fig. 19 is a view showing a relationship between the pattern of Fig. 17 and polarization of illuminating light.

[Fig. 20]

Fig. 20 is an outline of an essential portion of embodiment 4 when an image projecting method of the invention is applied to a stepper.

[Fig. 21]

Fig. 21 is an explanatory view of a portion of Fig. 11.

[Fig. 22]

Fig. 22 is an explanatory view of a portion of Fig. 11.

[Fig. 23]

Fig. 23 is an explanatory view of a reticle according to embodiment 5 of the invention.

[Fig. 24]

Fig. 24 is a flowchart diagram of a method of fabricating a semiconductor element according to the invention.

[Fig. 25]

Fig. 25 is a flowchart diagram of a wafer process according to a method of fabricating a semiconductor element according to the invention.

[Fig. 26]

Fig. 26 is an explanatory view showing an amplitude distribution on a pupil.

[Fig. 27]

Fig. 27 is an explanatory view for explaining a difference in a polarizing direction by an angle of a light ray.

[Fig. 28]

Fig. 28 is an explanatory view showing an intensity distribution on an image face when light polarized in a direction in parallel with a slit is used.

[Fig. 29]

Fig. 29 is an explanatory view showing an intensity distribution on an image face when light polarized in a direction orthogonal to a slit is used.

[Fig. 30]

Fig. 30 is an explanatory view of an intensity distribution on an image face by a phase shift method, an oblique incidence illumination when light polarized in a direction in parallel with a slit is used.

[Fig. 31]

Fig. 31 is an explanatory view of an intensity distribution on an image face by a phase shift method, an oblique incidence illumination when light polarized in a direction orthogonal to a slit is used.

[Fig. 32]

Fig. 32 is an explanatory view showing an amplitude transmittance of a repeated pattern.

[Fig. 33]

Fig. 33 is an explanatory view showing an amplitude distribution on a pupil.

[Fig. 34]

Fig. 34 is an explanatory view showing an intensity distribution on an image face.

[Fig. 35]

Fig. 35 is an explanatory view showing an amplitude distribution on a pupil when the phase shift method is used.

[Fig. 36]

Fig. 36 is an explanatory view showing an amplitude distribution on a pupil when an oblique incidence illumination is used.

[Description of Reference Numerals and Signs]

- 1 light source
- 2 optical integrator
- 3 illumination lens
- 4 reticle
- 5 projection lens
- 6 semiconductor wafer
- 7 stage
- 8 aperture
- 9 polarization apparatus

[Drawings]

[Fig. 24]

semiconductor device fabricating flow

- (step 1) circuit design
- (step 2) mask fabrication
- (step 3) wafer fabrication
- (step 4) wafer process (prestep)
- (step 5) integration (poststep)
- (step 6) inspection
- (step 7) delivery

[Fig. 25]

wafer process

- (step 11) oxidation
- (step 12) CVD
- (step 13) electrode formation
- (step 14) ion implantation
- (step 15) resist process
- (step 16) exposure
- (step 17) development
- (step 18) etching
- (step 19) resist exfoliation

repeat

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-188169

(43)公開日 平成6年(1994)7月8日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 2 B 27/28		A 9120-2K		
G 0 3 F 7/20	5 2 1	7316-2H		
G 1 1 B 5/127		D 7303-5D		
		7352-4M		
			H 0 1 L 21/ 30	3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数46(全 16 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平5-212198

(22)出願日 平成5年(1993)8月4日

(31)優先権主張番号 特願平4-247249

(32)優先日 平4(1992)8月24日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000001007

キャノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 昨野 靖行

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キャ  
ノン株式会社内

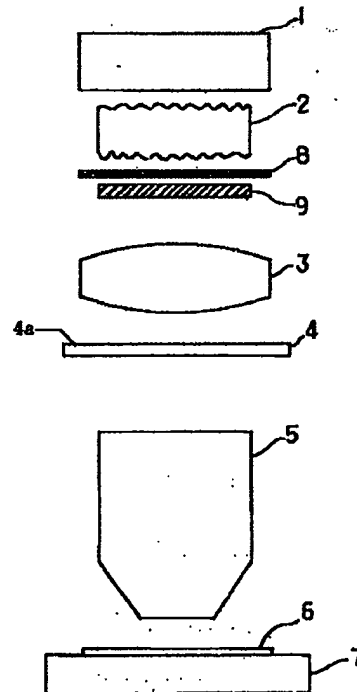
(74)代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54)【発明の名称】 結像方法及び該方法を用いる露光装置及び該方法を用いるデバイス製造方法

(57)【要約】

【目的】 周期性のパターンを最適な偏光状態の光束を用いて高解像度で投影するようにした結像方法及び該方法を用いる露光装置を得ること。

【構成】 照明系からの光束でレチクル面上の周期性のあるパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンの像をウエハ面上に投影する際、偏光装置により該パターンの周期が最短となる方向に対して略直交する方向に偏光面を有する直線偏光の光束を選択して投影していること。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ライン状のパターンを該パターンの長手方向に偏光した偏光ビームで結像していることを特徴とする結像方法。

【請求項2】 前記偏光ビームにより前記パターンを照明していることを特徴とする請求項1の結像方法。

【請求項3】 偏光していないビームにより前記パターンを照明し、前記パターンからのビームから前記偏光ビームを抽出していることを特徴とする請求項1の結像方法。

【請求項4】 前記パターンの結像が実質的に前記パターンからの2つの回折ビームにより行われていることを特徴とする請求項1、2又は3の結像方法。

【請求項5】 前記パターンに照明用のビームが斜入射していることを特徴とする請求項4の結像方法。

【請求項6】 前記パターンは位相シフターを備えていることを特徴とする請求項4の結像方法。

【請求項7】 ライン状のパターンを加工片上に前記ラインの長手方向に偏光した偏光ビームで結像し、該加工片上に前記パターンを転写してデバイスを製造していることを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項8】 前記偏光ビームにより前記パターンを照明していることを特徴とする請求項7のデバイス製造方法。

【請求項9】 非偏光ビームにより前記パターンを照明し、前記パターンからのビームから前記偏光ビームを抽出していることを特徴とする請求項7のデバイス製造方法。

【請求項10】 前記パターンの結像が実質的に前記パターンからの2つの回折ビームにより行われていることを特徴とする請求項7のデバイス製造方法。

【請求項11】 前記パターンに照明用のビームが斜入射していることを特徴とする請求項10のデバイス製造方法。

【請求項12】 前記パターンは位相シフターを備えていることを特徴とする請求項10のデバイス製造方法。

【請求項13】 ライン状のパターンを照明手段により前記パターンの長手方向に偏光した偏光ビームで照明し、前記照明手段からの偏光ビームで照明された前記パターンを投影手段により基板上に投影し、露光するようにしたことを特徴とする露光装置。

【請求項14】 前記照明手段は前記パターンに前記偏光ビームを斜入射させていることを特徴とする請求項13の露光装置。

【請求項15】 ライン状のパターンを照明手段により非偏光ビームで照明し、前記照明手段からの非偏光ビームで照明された前記パターンを投影手段により前記パターンの長手方向に偏光した偏光ビームにより基板上に投影し、露光するようにしたことを特徴とする露光装置。

【請求項16】 前記照明手段は前記パターンに前記非

偏光ビームを斜入射させていることを特徴とする請求項15の露光装置。

【請求項17】 繰り返しパターンを繰り返しの周期が最も小さくなる方向と実質的に直交する方向に偏光した偏光ビームで結像していることを特徴とする結像方法。

【請求項18】 前記偏光ビームにより前記パターンを照明していることを特徴とする請求項17の結像方法。

【請求項19】 偏光していないビームにより前記パターンを照明し、前記パターンからのビームから前記偏光ビームを抽出していることを特徴とする請求項17の結像方法。

【請求項20】 前記パターンはラインとスペースより成るパターンを含んでいることを特徴とする請求項17の結像方法。

【請求項21】 前記パターンはドット状のパターンを含んでいることを特徴とする請求項17の結像方法。

【請求項22】 前記パターンの結像が実質的に前記パターンからの2つの回折ビームにより行われていることを特徴とする請求項17、18、19、20又は21の結像方法。

【請求項23】 前記パターンに照明用のビームが斜入射していることを特徴とする請求項22の結像方法。

【請求項24】 前記パターンは位相シフターを備えていることを特徴とする請求項22の結像方法。

【請求項25】 繰り返しパターンを加工片上に前記繰り返しパターンの周期が最も小さくなる方向と実質的に直交する方向に偏光した偏光ビームで結像し、該加工片上に前記繰り返しパターンを転写し、デバイスを製造していることを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項26】 前記偏光ビームにより前記パターンを照明していることを特徴とする請求項25のデバイス製造方法。

【請求項27】 非偏光ビームにより前記パターンを照明し、前記パターンからのビームから前記偏光ビームを抽出していることを特徴とする請求項25のデバイス製造方法。

【請求項28】 前記パターンはラインとスペースより成るパターンを含んでいることを特徴とする請求項25のデバイス製造方法。

【請求項29】 前記パターンはドット状のパターンを含んでいることを特徴とする請求項25のデバイス製造方法。

【請求項30】 前記パターンの結像が実質的に前記パターンからの2つの回折ビームにより行われていることを特徴とする請求項25、26、27、28又は29のデバイス製造方法。

【請求項31】 前記パターンに照明ビームが斜入射していることを特徴とする請求項30のデバイス製造方法。

【請求項32】 前記パターンは位相シフターを備えて

いることを特徴とする請求項30のデバイス製造方法。

【請求項33】 繰り返しパターンを照明手段により前記繰り返しパターンの周期が最も小さくなる方向と実質的に直交する方向に偏光した偏光ビームで照明し、前記照明手段からの偏光ビームで照明された前記パターンを投影手段により基板上に投影し、露光するようにしたことを特徴とする露光装置。

【請求項34】 前記照明手段は前記パターンに前記偏光ビームを斜入射させていることを特徴とする請求項33の露光装置。

【請求項35】 繰り返しパターンを照明手段により非偏光ビームで照明し、前記照明手段からの非偏光ビームで照明された前記パターンを投影手段により繰り返しパターンの周期が最も小さくなる方向と実質的に直交する方向に偏光した偏光ビームにより基板上に投影し、露光するようにしたことを特徴とする露光装置。

【請求項36】 前記照明手段は前記パターンに前記非偏光ビームを斜入射させていることを特徴とする請求項35の露光装置。

【請求項37】 周期性のあるパターンを該パターンの周期方向に対応した直線偏光の光束で照明し、該パターンを投影光学系により所定面上に投影するようにしたことを特徴とする像投影方法。

【請求項38】 周期性のあるパターンを該パターンの配列方向と直交する方向に偏光面を有する直線偏光の光束で照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンを所定面上に投影するようにしたことを特徴とする像投影方法。

【請求項39】 照明系からの光束を直線偏光の偏光方向を任意に変えて射出させることができる偏光装置を介して周期性のあるパターンをその周期が最短となる方向に対して略直交する方向に偏光面を有する光束で照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンを所定面上に投影するようにしたことを特徴とする像投影方法。

【請求項40】 照明系からの光束でレチクル面上の周期性のあるパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンの像をウエハー面上に投影する際、該パターンを該パターンの周期が最短となる方向に対して略直交する方向に偏光面を有する直線偏光の光束で照明していることを特徴とする露光装置。

【請求項41】 周期性のあるパターンを照明し、該パターンを投影光学系により所定面上に投影する際、該パターンの周期方向に対応した直線偏光の光束を用いて投影していることを特徴とする像投影方法。

【請求項42】 周期性のあるパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて該パターンを所定面上に投影する際、該パターンの配列方向と直交する方向に偏光面を有する直線偏光の光束を

用いて投影していることを特徴とする像投影方法。

【請求項43】 照明系からの光束で周期性のあるパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて該パターンを所定面上に投影する際、偏光装置により該パターンの周期が最短となる方向に対して略直交する方向に偏光面を有する光束を選択して該パターンの投影を行っていることを特徴とする像投影方法。

【請求項44】 照明系からの光束でレチクル面上の周期性のあるパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンの像をウエハー面上に投影する際、偏光装置により該パターンの周期が最短となる方向に対して略直交する方向に偏光面を有する直線偏光の光束を選択して投影していることを特徴とする露光装置。

【請求項45】 回路パターンを持った原版とウエハーとを用意する工程と、請求項37、38、39、41、42、43のいずれかの方法によって原版の回路パターンをウエハーに露光転写する工程を有することを特徴とする半導体素子製造方法。

【請求項46】 請求項45の製造方法によって製造されたことを特徴とする半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、結像方法及び該方法を用いる露光装置及び該方法を用いるデバイス製造方法に関する。

【0002】 特に本発明は、ICやLSI、CCD、液晶パネル、磁気ヘッド等の各デバイスを製造する際に有用な結像方法及び該方法を用いる露光装置及び該方法を用いるデバイス製造方法に関する。

【0003】 この他本発明は、半導体素子の製造装置であるステッパーにおいてレチクル又はマスク（以下「レチクル」と称する）面上の線幅の小さい電子回路パターン（パターン）を適切な光束で照明し、ウエハー面上に高い解像力で投影することができる像投影方法及びそれを用いた露光装置に関するものである。

【0004】

【従来の技術】 IC、LSI等の半導体チップの高集積化に対する要求が高まっているので紫外光により照明した回路パターンを縮小投影して転写を行う所謂ステッパー（縮小投影露光装置）の解像力の向上のために様々な改良がなされている。

【0005】 従来、解像力を高める方法として、縮小投影レンズ系の開口数（NA）を大きくする方法、及び露光光の波長を短くする方法等が採られてきた。又、最近では、これらの方法とは別に位相シフト法や斜入射照明方法等、特に周期性のある微細パターン（繰り返し微細パターン）を結像するために有効な手法が提案されている。



【0006】周期性のある微細なパターンの結像について、以下に説明する。

【0007】図32は、3本の微細なスリットから成る繰り返しパターンを示すグラフであり、グラフの横軸にパターン位置 $X$ を、縦軸に振幅透過率 $T$ をとっている。図中、透過率1の部分は光が透過し、透過率0の部分は光が遮られる。

【0008】このような振幅透過率をもつ繰り返しパターンをコヒーレントな光で照明すると、入射光は0次、+1次、-1次、及び他の高次の回折光へと分かれる。このうち像の形成に寄与するのは投影光学系の瞳に入射する回折光のみであり、一般には0次、+1次、-1次の回折光が投影光学系の瞳に入射する。

【0009】図33は0次、 $\pm 1$ 次の回折光の瞳上における振幅を示す説明図である。図中100、101、102はそれぞれ0次、+1次、-1次の回折光のピーク位置を、1Aは振幅を表す。

【0010】図34は0次、 $\pm 1$ 次の回折光により形成されるパターン像の強度分布を示している。縦軸は強度 $I$ を示している。通常の結像では、パターンの線幅が非常に小さくなって0次の回折光しか投影光学系の瞳に入射なくなると、もはやパターンの像は形成されなくなってしまう。

【0011】これに対して位相シフト法では、光が上記繰り返しパターンを透過する際、隣合うスリットからの回折光の位相が180度ずれるようにパターンに細工をすることにより、投影光学系の瞳上で0次の回折光成分が現れないようにし、パターンの像を+1次と-1次の回折光によって形成している。

【0012】3本の微細スリットから成る繰り返しパターンを、位相シフト法を用いて投影した際に投影光学系の瞳上にできる振幅分布を図35に示す。図中103、104はそれぞれ+1次、-1次の回折光成分のピーク位置を表す。この場合パターンの繰り返し周期を同じとすればピーク位置103、104間の距離が図33の $\pm 1$ 次の回折光のピーク位置間の距離に比べて半分になる。位相シフト法を用いると、パターンの空間周波数を見掛け上小さくすることができるので、より微細なパターンからの $\pm 1$ 次の回折光が瞳上に入射する。従って、解像度が向上する。

【0013】図33の瞳上の振幅分布は、パターンが描かれた平面に対して垂直な方向から光を入射させた場合のものであるが、この平面に斜めから光を入射させることによって、瞳上に振幅分布の位置を横方向にずらすのが斜入射法である。

【0014】図36は瞳上に0次と+1次の回折光が入るように繰り返しパターンに光を斜入射させたときの瞳上の振幅分布を示す説明図である。図中105、106はそれぞれ0次、+1次の回折光のピーク位置を表す。

【0015】図36に示す2つの回折光によって像を形

成することを考えれば、斜入射法でも、位相シフト法の場合と同様に、より微細なパターンからの回折光が瞳上に到達でき、解像度が向上する。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】前述した位相シフト法や斜入射照明法による解像度の向上の効果には周期性のパターンを照明する場合、光の偏光状態が大きくかわっていることが本発明者の行ったシミュレーションの結果から明らかになった。そのため、照明光の偏光状態をパターンに対して最適な状態にしないと、位相シフト法や斜入射照明法等を用いても大きな解像度の向上が得られないという問題点が生じてくる。

【0017】本発明の目的は、微細パターンを結像するのに好適な改良された結像方法及び該方法を用いる露光装置及び該方法を用いてデバイス製造する方法を提供することにある。

【0018】この他、本発明は周期性のあるパターンを投影光学系で所定面上に投影する際、投影に用いる光束の偏光状態をパターンの周期方向に対応させて適切に設定することにより、高い解像力を維持しつつ高いコントラストで投影することができる半導体素子の製造に好適な像投影方法及びそれを用いた露光装置の提供を目的とする。更には高集積度の半導体素子の製造方法の提供を目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】(1-1)本発明の第1の形態は、ライン状のパターンを結像する結像方法において、前記パターンの長手方向に偏光した偏光ビームで前記パターンを結像せしめることを特徴とする。

【0020】(1-2)本発明の第2の形態は、ライン状のパターンを加工片上に結像し、該加工片上に前記パターンを転写するデバイス製造方法において、前記パターンの長手方向に偏光した偏光ビームで前記パターンを結像せしめることを特徴とする。

【0021】(1-3)本発明の第3の形態は、ライン状のパターンで基板を露光する露光装置において、前記パターンの長手方向に偏光した偏光ビームにより前記パターンを照明する手段と前記照明手段により照明された前記パターンを前記基板上に投影する手段とを有することを特徴とする。

【0022】(1-4)本発明の第4の形態は、ライン状のパターンで基板を露光する露光装置において、前記パターンを非偏光ビームで照明する照明手段と前記照明手段により照明された前記パターンを前記パターンの長手方向に偏光した偏光ビームにより前記基板上に投影する投影手段とを有していることを特徴とする。

【0023】(1-5)本発明の第5の形態は、繰り返しパターンを結像する結像方法において、繰り返しの周期が最も小さくなる方向と実質的に直交する方向に偏光した偏光ビームで前記パターンを結像せしめることを特

徴とする。

【0024】(1-6) 本発明の第6の形態は、繰り返しパターンを加工片上に結像し、該加工片上に前記繰り返しパターンを転写するデバイス製造方法において、繰り返しの周期が最も小さくなる方向と実質的に直交する方向に偏光した偏光ビームで前記パターンを結像していることを特徴としている。

【0025】(1-7) 本発明の第7の形態は、繰り返しパターンで基板を露光する露光装置において、繰り返しの周期が最も小さくなる方向と実質的に直交する方向に偏光した偏光ビームにより前記パターンを照明する照明手段と前記照明手段により照明された前記パターンを前記基板上に投影する投影手段とを有することを特徴とする。

【0026】(1-8) 本発明の第8の形態は、繰り返しパターンで基板を露光する露光装置において、前記パターンを非偏光ビームで照明する照明手段と前記照明手段により照明された前記パターンを繰り返しの周期が最も小さくなる方向と実質的に直交する方向に偏光した偏光ビームにより前記基板上に投影する手段とを有することを特徴とする。

【0027】(1-9) 本発明において、偏光ビームでパターンを照明するときには、当該パターンが形成された基板上に偏光板(膜)を形成したり、偏光ビームを発するレーザー等の光源を設けたり、この照明の為の光学系中に偏光板(膜)を設ける。

【0028】また、本発明において、非偏光ビームで照明されたパターンを偏光ビームで結像するときには、当該パターンが形成されたマスク等の基板上に偏光板(膜)を形成したり、この結像の為の光学系中に偏光板(膜)を設ける。

【0029】本発明の好ましい形態では、上記照明光学系又は結像光学系の偏光板(膜)の方位を変え得よう当該偏光板(膜)を系の光軸の回りに回転できるよう構成する。この構成により所望の方向に偏光した偏光ビームが形成できる。

【0030】本発明の別の好ましい形態では、上記照明光学系又は結像光学系中に1/2波長板(膜)を設け、当該1/2波長板(膜)の光学軸の方位を変え得よう当該1/2波長板(膜)を系の光軸の回りに回転できるよう構成する。この構成により所望の方向に偏光した偏光ビームが形成できる。

【0031】又、本発明において、基板上に相異なるパターンが形成されており、これらのパターンの長手方向が互いに異なっていたり、これらのパターンの繰り返しの周期が最も小さい方向(最小周期方向)が互いに異なっているときには、夫々のパターンの長手方向又は/及び最小周期方向に直交する方向、に対応した偏光ビームにより各パターンを結像する。

【0032】このような結像を同時に行うとき各パター

ン毎にそれらに対応した偏光板(膜)を設けた状態で非偏光ビームを供給したり、一つのパターン以外の他のパターンにそれ又はそれらに対応した偏光を生じさせる為の1/2波長板(膜)を設けた状態で前記一つのパターンに対応した偏光ビームを供給したりする。この偏光板(膜)や1/2波長板(膜)はパターンの光入射側又は光射出側の少なくとも一方に設けるとよい。

【0033】このような結像を順次行うとき、照明光学系又は結像光学系を前記の好ましい形態の如く構成し、各パターンに対応する偏光ビームを発生させる。

【0034】本発明の好ましい形態では前記パターンが照明ビームにより斜方向から照明されたり、前記パターンに位相シフターが供給されたりし、前記パターンからの実質的に2つの回折ビームにより結像が行われる。

【0035】(1-10) 本発明の像投影方法は(1-10-イ) 周期性のあるパターンを該パターンの周期方向に対応した直線偏光の光束で照明し、該パターンを投影光学系により所定面上に投影するようにしたことを特徴としている。

【0036】(1-10-ロ) 周期性のあるパターンを該パターンの配列方向と直交する方向に偏光面を有する直線偏光の光束で照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンを所定面上に投影するようにしたことを特徴としている。

【0037】(1-10-ハ) 照明系からの光束を直線偏光の偏光方向を任意に変えて射出させることができる偏光装置を介して周期性のあるパターンをその周期が最短となる方向に対して略直交する方向に偏光面を有する光束で照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンを所定面上に投影するようにしたことを特徴としている。

【0038】(1-10-ニ) 周期性のあるパターンを照明し、該パターンを投影光学系により所定面上に投影する際、該パターンの周期方向に対応した直線偏光の光束を用いて投影していることを特徴としている。

【0039】(1-10-ホ) 周期性のあるパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて該パターンを所定面上に投影する際、該パターンの配列方向と直交する方向に偏光面を有する直線偏光の光束を用いて投影していることを特徴としている。

【0040】(1-10-ヘ) 照明系からの光束で周期性のあるパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて該パターンを所定面上に投影する際、偏光装置により該パターンの周期が最短となる方向に対して略直交する方向に偏光面を有する光束を選択して該パターンの投影を行っていることを特徴としている。

【0041】(1-11) 又、本発明の露光装置として

(1-11-イ) 照明系からの光束でレチクル面上の周期性のあるパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンの像をウエハー面上に投影する際、該パターンを該パターンの周期が最短となる方向に対して略直交する方向に偏光面を有する直線偏光の光束で照明していることを特徴としている。

【0042】(1-11-ロ) 照明系からの光束でレチクル面上の周期性のあるパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンの像をウエハー面上に投影する際、偏光装置により該パターンの周期が最短となる方向に対して略直交する方向に偏光面を有する直線偏光の光束を選択して投影していることを特徴としている。

【0043】

$$A(x, y) = \iint F(U(x_1, y_1)) \exp\{ik(\alpha x + \beta y)\} d\alpha d\beta \quad \text{と書ける。}$$

式中  $F(U(x_1, y_1))$  はパターンの振幅透過率  $U(x_1, y_1)$  のフーリエ変換であり、このフーリエ変換を投影光学系の開口数で決まる瞳面の範囲内で再びフーリエ変換している。但し式中  $(\alpha, \beta)$  は瞳面上の座標であり、 $F(U(x_1, y_1))$  は  $(\alpha, \beta)$  の関数になっている。

【0046】この式は照明光がコヒーレントな場合の式であるが、照明光が部分コヒーレントな場合にも、扱いは多少複雑になるが、基本的には同じである。

【0047】上に述べた式を用いたシュミレーションでは、投影光学系の開口数が小さい場合は正しい結果が得られるが、その開口数が大きくなるといくつかの問題が生じることが、本発明者の行った検討により、明らかになった。

【0048】上式の一番の問題点は入射光の偏光状態が考慮されていないことである。このことを図を用いて説明する。説明には前述の3本のスリットより成る繰り返しパターンの例を用いる。

【0049】図26は図33で示した瞳上の振幅分布を、投影光学系のガウス像点110を基準とした参照球面111上に描いている。像面112上の点110における振幅は、投影光学系の波面収差を無視すれば参照球面111上の振幅の積分によって決まり、又、像面112上で点110から距離  $x$  だけずれた点における振幅は、距離  $x$  と参照球面111上の座標から決まる、ある位相差を考慮して参照球面111上の振幅を、積分することによって計算される。

【0050】ここから先は、話を簡単にするために、点110における振幅の計算に議論を限ることにする。

又、ここで座標軸の定義を行っておく。

【0051】図26に示すように光軸を  $z$  軸とし、紙面内で  $z$  軸に垂直な軸を  $x$  軸、及び紙面に垂直な方向の軸を  $y$  軸とする。上に述べたスカラー回折理論による考え

【実施例】まず本発明の各実施例を説明する前に、一般的な結像特性のシュミレーションに用いられる所謂スカラー回折理論と、本発明者がシュミレーションに用いた上記スカラー回折理論よりも精度の高い理論について説明する。

【0044】スカラー回折理論では、物体のパターンが照明されると、そのパターンのフーリエ変換像が投影光学系の入射瞳上に形成され、このフーリエ変換像を投影光学系の開口数 (NA) の範囲内で再びフーリエ変換して、像面上にある振幅分布のパターン像が形成される。これを式で表現すると、像面上の点  $(x, y)$  における振幅  $A(x, y)$  は

【0045】

【数1】

方では、点110における振幅は参照球面111上の振幅をそのまま足し合わせた形で計算される。

【0052】光には偏光というものがあり、例え完全にコヒーレントな光同士であっても、その偏光方向が異なっていると完全には干渉しないし、それが例えば直交していると干渉は全く起こらない。

【0053】繰り返しパターンを構成するスリットの長手方向が  $y$  軸に平行で、繰り返しパターンが  $x$  軸方向に周期を持つとして、 $z$  軸に平行な方向から光でスリットを照明すれば参照球面111上では図26の振幅分布が形成される。照明光が  $y$  軸方向 (スリットに平行な方向) に偏光した直線偏光であり、投影光学系内で偏光方向の変化が無視できるとすれば、上記の振幅分布の各点における偏光方向も、照明光と同様に全ての位置で  $y$  軸方向となる。

【0054】スリットで回折された光のうち  $y$  軸方向に偏光した光のみで参照球面111上の振幅分布が形成されているとすると、像面112上に達する光の偏光方向もすべて同一となる。この場合も、点110における振幅は参照球面111上の振幅をそのまま積分することによって求まる。

【0055】一方、照明光が  $x$  軸方向 (スリットに直交する方向) に偏光した直線偏光である場合は図27に示すように、参照球面111から点110に向けた代表的な光線120~124を考えた場合、偏光方向と光の進行方向は直交するという条件から、光線120~124の偏光方向はそれぞれ図中125~129の矢印のようになる。この場合の偏光は  $x, z$  両偏光成分を持っており、点110における振幅はそれぞれの偏光成分毎に考える必要がある。点110における光の強度はそれぞれの偏光成分による振幅から得られる強度の合計となる。

【0056】次にこの考え方を適用してシュミレーショ

ンを行った結果について説明する。まず図33で説明した0次、+1次、-1次の回折光成分を用いる結像では、照明光の2つの偏光方向に対して、即ちスリットから回折される光のうちx軸方向とy軸方向のどちらの方向の偏光成分を用いるかによって得られる最終的な強度分布はそれぞれ図28、図29のようになる。

【0057】図28は照明光の偏光方向がスリットに平行な場合であり、像はy軸方向の偏光成分のみで形成される。一方、図29は照明光の偏光方向がスリットに垂直な場合であり、像はx偏光成分及びz偏光成分の合計として形成される。

【0058】同様のシュミレーションによって、位相シフト法や斜入射照明法のように、0次、+1次、-1次の3つの回折光のうちの2つの回折光を用いる結像を評価したものを、次に示す。

【0059】像面上の強度分布の結果のみを示すと、照明光の偏光方向がy軸方向（スリットに平行）の場合は図30に示す強度分布に、偏光方向がx軸方向（スリットに垂直）の場合は図31に示す強度分布になる。

【0060】ここでは、偏光方向がスリットに垂直な場合はz方向の偏光成分の影響で、偏光方向がスリットに平行な場合に比べて、像のコントラストがかなり悪い。通常の露光では照明光は無偏光の状態になっているので、強度分布は図30、図31の強度分布を平均したもののになるが、その場合でも図31の強度分布に比べてコントラストが劣化する。

【0061】このように、照明光の偏光方向が結像特性に大きな影響を与えることが本発明者の行った精度の高いシュミレーションの結果から明らかになった。

【0062】特に、解像度を高めるために位相シフト法、又は斜入射照明法を適用した場合に、投影する周期性のあるパターンに対して照明光の偏光方向を適切に制御することにより、期待以上の解像度が得られる。

【0063】以上が本発明が行った結像特性に関するシュミレーションの結果である。

【0064】次に本発明の各実施例について説明する。

【0065】図1は本発明の像投影方法を半導体素子やCCDや液晶パネルや磁気ヘッド等のデバイス製造用のステッパー（ステップ&リピート型投影露光装置）に適用したときの実施例1の要部概略図である。

【0066】図中、1は超高圧水銀灯等の光源である。光源1から出た光はオブティカルインテグレーター2によって光量分布が均一化された、アパーチャー8と偏光装置9を介して照明レンズ3によりレチクル4面上のパターン（回路パターン）4aを照明する。レチクル4のパターン4aで回折された光は、投影レンズ5に入射し、投影レンズ5を介してステージ7の上に載った半導体ウエハー6上にパターン4aの像を形成している。

【0067】ここでオブティカルインテグレーター2から射出した光は、その全ての光束が照明レンズ3に到達

するのではなく、オブティカルインテグレーター2に接近して置かれた開口絞りである所のアパーチャー8によって照明に適した部分のみが選択され、選択された光は偏光装置9を透過する際、その偏光状態が円又は楕円偏光又は非偏光の状態から直線偏光に変換される。偏光装置9は、直線偏光の偏光方向をパターン4aの繰り返し方向等の条件に応じて変えることができる。

【0068】レチクル4には、増体ウエハー6上への転写を行うための線幅の小さい回路パターン4aが描かれており、照明レンズ3を介してレチクル4に入射する照明光は上記回路パターン4aに応じてレチクル4を透過する。半導体ウエハー6上にはレジスト等の感光材料が塗布されており、そこに回路パターン4aの像を転写することが可能になっている。

【0069】投影レンズ5はレチクル4上の回路パターン4aの像を半導体ウエハー6上に所定の倍率に縮小（一般に1/5又は1/10）して投影している。その際、レチクル4と半導体ウエハー6は、ステージ7を駆動することによって所定の位置関係に調整される。半導体ウエハー6上のあるショットへの露光が終了すると、半導体ウエハー6はステージ7によって水平方向に所定量移動され、そこで、半導体ウエハー6上の上の他ショットの露光を行うことを繰り返す。

【0070】本実施例ではレチクル4上の回路パターン4aとして図2に示すy方向に延びるスリットを5本x方向に並べた、x方向に周期性を有する繰り返しパターンを用いている。図中10～14が開口で、この開口10～4の周囲は遮光部より成り、光はこの部分のみを透過する。又、一点鎖線15はスリット状の開口10～14の繰り返し方向（x方向）に引いた基準線であり、後の説明で用いる。

【0071】ここでは、主光線がレチクル4に対して鉛直な方向から傾いた光束でレチクル4を照明することにより像のコントラストを向上させる。

【0072】図3は図2のパターン4aの一点鎖線15に沿った断面図である。斜入射照明法により光束20、21を傾ける方向としては、図3に示すようにパターン4aが繰り返しているZX平面内で光束の主光線が斜めになるようにする。この条件を満たすべく、本実施例ではアパーチャー8の開口を図4に示すよう構成している。尚、x軸はパターン4aの繰り返しの周期が最も小さくなる方向に向いている。

【0073】図4において斜線部分22は光が通らないように遮光されている遮光領域である。2つの円形開口23、24は光透過領域であり、この領域23、24からの光がパターン4aの結像に寄与する。図中、25は円形開口23、24の中心を通るように引いた基準線である。

【0074】図1のアパーチャー8で選択された照明光は次に、偏光装置9に入射する。偏光装置9は図5に示

すように、偏光装置9の上面から入射する光の偏光成分のうち、図中矢印26で示したy方向の偏光光のみを透過させ、他の方向の偏光光は遮るような構造になっている。図中一点鎖線27は上記矢印26に直交する方向に引いた基準線である。図1のレチクル4、アパーチャー8、そして偏光装置9の水平面内での配置は、図2、4、5中にそれぞれ示した基準線15、25、27がお互いに平行になるように設定している。

【0075】以上のような構成により、斜入射照明光の偏光方向をパターン4aのスリット方向に平行なy方向になるようにして、即ちパターン4aの繰り返しの周期が最小となるx方向に直交するようにして、パターン4aの結像と焼付けを行うことにより、図30で説明したように高解像度で、かつコントラストの高い像を半導体ウエハー6上に得ている。レチクル4上のパターンとしてドット上の繰り返しパターンの場合も、同様の効果がある。

【0076】次に本実施例において、レチクル4上のパターン4aが、図2のように1方向に周期性のある単一パターンのみでなく、図6に示すように各々が縦、横の(y, x)の2方向に周期性のある2つのパターンを持っている場合について説明する。

【0077】この場合、図6の破線30で囲まれた部分の繰り返しパターンは上述の方法を用いることにより、良好に投影転写を行うことができる。しかしながら破線31で囲まれた部分の繰り返しパターンについては照明光の偏光方向がスリットに直交する方向になるので同じような効果は得られない。

【0078】そこで本実施例では、図6のレチクルを図7と図8に示す2枚のレチクルに分割し、別々に露光している。即ち図7のパターンについては前述した通り、y方向に偏光した直線偏光光で焼付けを行い、図8のパターンについては、パターンが繰り返す平面内で照明光がレチクルに斜入射し、かつ照明光の偏光方向がスリットの長手方向に平行な方向となるように、即ちx方向に偏光した直線偏光光となるように、不図示の駆動装置によりアパーチャー8と偏光装置9を水平面内で光軸を中心に90度回転させてから固定してから焼付けを行っている。この方法はスリットのパターンが縦、横の2方向に限らず、他の方向になった場合も同様に適用可能である。

【0079】又、図6に示すように一つのレチクルに2種類の繰り返しパターンがある場合、レチクルと共役な場所に設けたマスキングブレードを用いて各パターンを順次照明するようにし、上記方法で各パターンを偏光光で照明する。

【0080】本実施例ではレチクル上のパターンは5本のライン&スペースで形成されているとして説明を行ったが、5本以外のライン&スペースパターンについても同様に適用可能である。又、ライン&スペースの幅の比

は1対1に限られるものではなく、更にパターンの周期がある程度不規則になった場合でも本発明は同様に適用可能である。

【0081】又、本実施例において偏光装置9を照明レンズ3とレチクル4との間又はレチクル4と投影レンズ5との間又は投影レンズ5の内部(瞳面上)に配置しても良い。

【0082】偏光装置9をレチクル4と投影レンズ5との間に配置したときは、偏光装置9によってレチクル4上のパターン形状に応じてパターン4aで回折された回折光のうち、特定の方向に偏光した偏光光が選択され、この選択された偏光光束のみが投影レンズ5に入射するようになる。そしてこの偏光光束でパターン4aの像をウエハー6上に投影する。

【0083】次に本発明の実施例2について説明する。実施例2の装置構成は図1の実施例1と略同じである。実施例2が実施例1と異なる点はレチクル4上のパターンに位相シフト法を適用していることである。

【0084】図9は本実施例のレチクル4上のパターン4aの説明図である。同図に示すようにパターン4aが5本のy方向に延びるスリット状の開口40~44から成っている点は図1の実施例1と同じであるが、図9のパターンは斜線部分40、42、44に透過する光の位相を部分41、43を透過する光に対して180度変化させる位相シフターが設けられている点に特徴がある。

【0085】又、本実施例ではアパーチャー8の形状としては図10に示すように斜線部分45の遮光部で囲まれた中心の円形部分46の開口からの光のみが透過できるものを用いている。

【0086】本実施例では、パターン4aとアパーチャー8を用いて実施例1と同様の偏光装置9を組み合わせ、図9中のパターン4aに対して、照明光の偏光方向がスリットの長手方向に平行な方向(y方向)となるようにしている。これによって位相シフト法を用いて良好なパターンの焼付けを行っている。

【0087】又、レチクル4上のパターン4aが図9のように1種類でなく、図6のように相異なる方向に繰り返しが生じている複数種の場合でも、実施例1と同様に同じ向きのパターン毎にレチクルを複数枚用いたりマスキングブレードを用いて分割して焼付けを行うことにより、対処できる。

【0088】次に本発明の実施例3について説明する。実施例3の装置構成も図1の実施例1と略同じである。

【0089】本実施例ではレチクル4上のパターン4aとして、図11に示すものを用いる。図11中、4はレチクルであり、座標系を前記各実施例と同じくxy面をレチクル4と平行、z軸をレチクル4に垂直になるように定めておく。図11中、210~214はパターンAのスリット状開口部であり、開口部210~214は矢印215で示すx方向に繰り返しパターンを構成してい

る。

【0090】同様に220~224はパターンBのスリット状開口部であり、開口部220~224は矢印225で示すy方向に繰り返しパターンを構成している。パターンA、パターンBの夫々に位相シフト法が適用されている。位相シフト法を適用したパターンA、Bの詳細を図12を用いて説明する。

【0091】図12は図11に示したパターンAについて矢印215に沿った断面を描いたものである。図12中、230は透明なガラス基板であり、斜線部231はクロムより成る遮光部である。遮光部231と開口部210~214により周期パターンAが形成されている。位相シフト法は、開口部を透過する光の位相を隣り合う開口部の間で180度ずつ変化させることにより、結像系の解像度を向上させるものであり、図12中の32~34がそこを透過する光の位相を180度変化させる位相シフターを示している。

【0092】周期パターンBに関しても矢印225に沿った断面図は図12と同様になる。位相シフト法を適用したパターンの結像には、レチクル4に垂直な方向(z方向)から照明を行えば良いので、アパーチャー8としては図13に示すように、周辺の斜線部240が遮光部、中心の241が開口となっているものを用いる。

【0093】本実施例では偏光装置9として図14に示すものを適用する。偏光装置9は、そこに入射する光のうち図14中、両矢印50で示したy方向の偏光光のみを透過させるように構成されている。即ち、本実施例におけるステッパーの照明光は、偏光装置9を透過した後はy軸方向に偏光面を有する直線偏光光となる。

【0094】以上の構成でレチクル4上のパターン4aを照明すると、パターンA、Bと照明光の偏光方向の関係は図15及び図16に示すようになる。即ち、パターンAに対しては、図15に示すように偏光方向60はパターンを構成するスリットの長手方向と平行になり、これは前述の通り解像度が向上する条件を満たす。

【0095】一方パターンBに対しては図16に示すように偏光方向61はパターンを構成するスリットの長手方向に垂直になっており、このままではパターンBに対してはパターンAほどの解像度の改善はできない。

【0096】そこで本実施例ではパターンBに入射する直線偏光光束の偏光面を90度回転させて、パターンBのスリットに平行な方向の直線偏光光束でパターンBを照明できるようにしている。

【0097】図17は図11と同様、パターンA、パターンBを示した、レチクル4の平面図であるが、図17のレチクル4はパターンBの直前に入射する直線偏光光束の偏光面を90度回転させる偏光変換装置70を偏光している点の特徴である。偏光変換装置70としては、例えば1/2波長板を適用できる。1/2波長板を適用した際の偏光面回転の様子を図24を用いて説明する。

【0098】図18中、矢印80の方向に進み両矢印81の方向(y方向)に偏光した直線偏光光束に対して偏光変換装置(ここでは1/2波長板)の光学軸82の方向をx軸と45度の角度をなすように配置すると、偏光変換装置70を透過した後の光束は、矢印83の方向に進み、両矢印84で示すようにx軸方向に偏光した直線偏光光束に変換される。

【0099】偏光変換装置70をパターンBの直前に配置することにより、パターンBと照明光束の偏光方向の関係は図19に示すようになる。即ち、両矢印90が示す偏光の方向がパターンBを構成するスリットと平行な関係になるため、パターンBに対してもパターンAと同様の解像度の向上が実現できることになる。

【0100】偏光変換装置70として旋光性を持った光学物質を適用すれば、直線偏光光束の偏光面の回転の大きさは偏光変換装置70の厚みによって制御することが可能になり、その場合には厚みの制御により直線偏光光束の偏光面の回転角度が90度以外の様な値に設定できるため、様々な方向の繰り返しパターンに対して解像度の向上が可能となる。

【0101】本実施例では照明を行うパターンには位相シフト法が適用されているとして説明を行ったが、斜入射照明法を用いた場合でも適用することができるのは言うまでもない。

【0102】以上の各実施例において偏光装置9をレチクル1の表面又は裏面上に形成する変形例がある。

【0103】図20は本発明の像投影方法を半導体素子の製造用のステッパーに適用したときの実施例4の要部概略図である。図中、図1で示した要素と同一要素には同符番を付している。

【0104】図20において、光源1、オブティカルインテグレーター2、照明レンズ3、レチクル4、投影レンズ5、半導体ウエハー6、ステージ7等はそれぞれ図1のものと同様であるのでここでは省略する。

【0105】実施例4が実施例1~3と異なる点は、偏光装置の設置されている光路中の位置である。本実施例では偏光装置59をレチクル54の直前(照明レンズ3とレチクル54の間)に配置し、レチクル54に入射する光の偏光状態をレチクル54の直前で制御する構成になっている。

【0106】ここで、本実施例のレチクル54上のパターン54aは図21に示すように縦方向(y方向)に延びるスリット60~64より成る繰り返しパターンと横方向(x方向)に延びるスリット65~69より成る繰り返しパターンとからなっている。このように、縦横方向のパターンに対して斜入射照明で解像度を向上させるには、アパーチャー8の開口を図22のようにすれば良い。

【0107】図22中の斜線部70は遮光部で4隅に設けた円形開口部71~74が光透過部となっており、こ

の開口71~74からの光をレチクル4に斜め入射させる。

【0108】本実施例ではこのような斜入射照明法に対して、パターン54aに入射する光の偏光方向がスリットの長手方向に対して常に平行になるように、偏光装置59を配置したものである。

【0109】図21中の59a、59bは入射した光のうちある一つの方向に偏光した直線偏光のみを透過させる偏光部材であり、偏光部材59aは入射した光のうちスリット60~64の長手方向に平行な方向(y方向)、に偏光した偏光のみを透過するように設置されている。

【0110】一方、偏光部材59bはスリット65~69の長手方向に平行な方向(x方向)に偏光した偏光のみを透過させるように配置されている。偏光装置59としては、薄膜状の偏光板をその偏光軸方向を対応するパターンに合わせて決めてレチクル54上に貼りつけたもの等が適用可能である。

【0111】本実施例では、レチクル54上のパターン54aとして縦横2方向に延びるスリットを持つものについて説明したが、それ以外の方向に延びるスリットを持つパターンに対しても同様に適用可能である。

【0112】尚、本実施例において偏光装置9をレチクル54の直後(レチクル54と投影レンズ55との間)に配置しても良い。

【0113】このとき偏光装置9はレチクル54上に種々の方向に延びるスリットがあってもスリットから回折された光のうち、それぞれの方向のスリット毎に独立にスリットの長手方向に偏光した偏光光を選択できるようにし、そして、この偏光光で結像するようにしている。

【0114】次に本実施例の実施例5について説明する。実施例5の装置構成は図1の実施例1と略同じである。実施例5が実施例4と異なるのはレチクル4上のパターンに位相シフト法を適用していることである。

【0115】図23は本実施例のレチクル54面上のパターン54aの説明図である。同図に示すレチクル54上のパターンは縦方向(y方向)に延びるスリット80~84、及び横方向(x方向)に延びるスリット85~89から構成されている点では図21のパターンと同様であるが、本実施例では図中のスリットで斜線が施されている部分80、82、84、85、87、89に透過する光の位相を部分81、83、86、88を透過する光に対して180度変化させる位相シフト部材を設けている点異なっている。

【0116】59a、59bは偏光部材であり、レチクル54に円もしくは楕円に偏光した光もしくは非偏光光が入射したときに、その光のうちスリットの長手方向に偏光した偏光光のみをスリットに入射させている。又、アパーチャー8としては実施例2の場合と同様図13に示したものをを用いている。

【0117】本実施例では以上のような構成によって、位相シフト法によって解像度の向上を図り、かつレチクル54上に縦横方向のパターンがある場合でも、各パターンに適した偏光光で半導体ウエハー6上に結像している。

【0118】ここではレチクル54上のパターンとして縦横2方向に延びるスリットを持つもので説明したが、それ以外の方向に延びるスリットを持つパターンに対しても同様に適用可能である。

【0119】ここではレチクル上のパターンが5本のライン&スペースで形成されている場合を例にとり示したが、5本以外のライン&スペースパターンについても同様に適用可能である。又、ライン&スペースの幅の比は1対1に限られるものではなく、更にパターンの周期性がある程度不規則になった場合でも同様に適用可能である。

【0120】又、ランプと偏光装置を用いず、直線偏光光を発するレーザーを露光用の光源としても良い。又偏光装置を用いるときやレーザーを用いるときに1/2波長板を光路に入れ、これを回転させて所望の偏光光を作るようにしても良い。

【0121】次に上記説明した露光装置を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図24は半導体素子(ICやLSI等の半導体チップ、あるいは液晶パネルやCCD等)の製造のフローを示す。

【0122】ステップ1(回路設計)では半導体素子の回路設計を行なう。ステップ2(マスク製作)では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【0123】一方、ステップ3(ウエハー製造)ではシリコン等の材料を用いてウエハーを製造する。ステップ4(ウエハープロセス)は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハーを用いてリソグラフィ技術によってウエハー上に実施例の回路を形成する。

【0124】次のステップ5(組み立て)は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウエハーを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の工程を含む。ステップ6(検査)ではステップ5で作製された半導体素子の動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体素子が完成し、これが出荷(ステップ7)される。

【0125】図25は上記ウエハープロセスの詳細なフローを示す。

【0126】ステップ11(酸化)ではウエハーの表面を酸化させる。ステップ12(CVD)ではウエハー表面に絶縁膜を形成する。ステップ13(電極形成)ではウエハー上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14(イオン打込)ではウエハーにイオンを打ち込む。ステップ15(レジスト処理)ではウエハーに感光剤を塗布する。ステップ16(露光)では上記説明した露光装

図によってマスクの回路パターンをウエハーに焼付け露光する。ステップ17（現像）では露光したウエハーを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウエハー上に多重に回路パターンが形成される。

【0127】本実施例の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体素子を製造することができる。

【0128】

【発明の効果】本発明によれば以上のように各要素を設定することにより、微細パターンを結像するのに好適な、改良された結像方法及び該方法を用いる露光装置及び該方法を用いてデバイスを製造する方法を達成することができる。

【0129】この他本発明によれば以上のように周期性のあるパターンを投影光学系で所定面上に投影する際、投影に用いる光束の偏光状態をパターンの周期方向に対応させて適切に設定することにより、高い解像力を維持しつつ高コントラストで投影することができる半導体素子の製造に好適な像投影方法及び露光装置、更には製造方法を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の像投影方法をステッパに適用したときの実施例1の要部概略図

【図2】 図1のレチクルの説明図

【図3】 図1のレチクルに対する照明光の様子を示す説明図

【図4】 図1のアパーチャーの説明図

【図5】 図1の偏光装置の説明図

【図6】 図1のレチクルの他の実施例の説明図

【図7】 図6の一部分の説明図

【図8】 図6の一部分の説明図

【図9】 本発明の実施例2にかかるレチクルの説明図

【図10】 本発明の実施例2にかかるアパーチャーの説明図

【図11】 レチクル上のパターンを表す図

【図12】 図11のレチクル上のパターンの断面を表す図

【図13】 本発明の実施例3に係るアパーチャーを表す図

【図14】 本発明の実施例3に係る偏光装置を表す図

【図15】 図11のパターンと照明光の偏光の関係を表す図

【図16】 図11のパターンと照明光の偏光の関係を

表す図

【図17】 本発明の実施例3に係るレチクル上のパターンを表す図

【図18】 本発明の実施例3に係る偏光変換装置の働きを表す図

【図19】 図17のパターンと照明光の偏光の関係を表す図

【図20】 本発明の像投影方法をステッパに適用したときの実施例4の要部概略図

10 【図21】 図11の一部分の説明図

【図22】 図11の一部分の説明図

【図23】 本発明の実施例5に係るレチクルの説明図

【図24】 本発明に係る半導体素子の製造方法のフローチャート図

【図25】 本発明に係る半導体素子の製造方法におけるウエハープロセスのフローチャート図

【図26】 瞳上の振幅分布を表す説明図

【図27】 光線の角度による偏光方向の違いを説明するための説明図

20 【図28】 スリットに平行な方向に偏光した光を用いたときの像面上の強度分布を表す説明図

【図29】 スリットに垂直な方向に偏光した光を用いたときの像面上の強度分布を表す説明図

【図30】 スリットに平行な方向に偏光した光を用いたときの位相シフト法、斜入射照明による像面上の強度分布の説明図

【図31】 スリットに垂直な方向に偏光した光を用いたときの位相シフト法、斜入射照明による像面上の強度分布の説明図

30 【図32】 繰り返しパターンの振幅透過率を表す説明図

【図33】 瞳上の振幅分布を表す説明図

【図34】 像面上の強度分布を表す説明図

【図35】 位相シフト法を用いた場合の瞳上の振幅分布を表す説明図

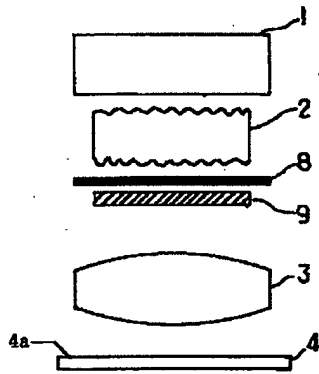
【図36】 斜入射照明を用いた場合の瞳上の振幅分布を表す説明図

【符号の説明】

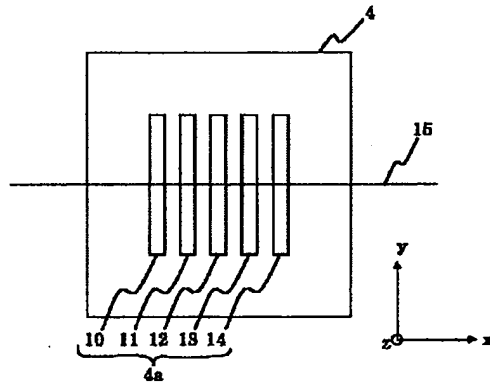
- 1 光源
- 2 オプティカルインテグレーター
- 3 照明レンズ
- 4 レチクル
- 5 投影レンズ
- 6 半導体ウエハー
- 7 ステージ
- 8 アパーチャー
- 9 偏光装置



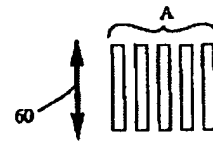
【図1】



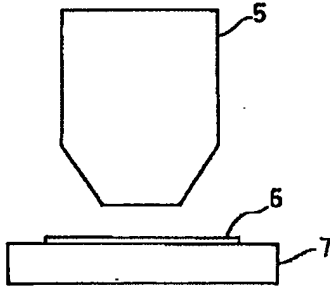
【図2】



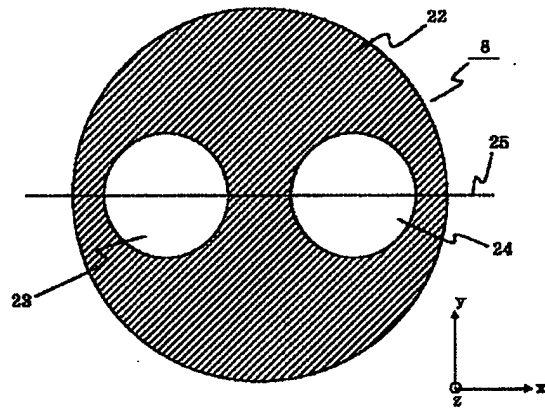
【図15】



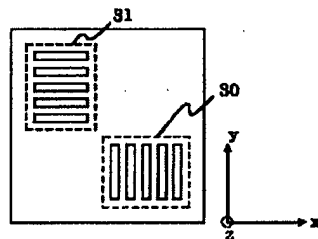
【図3】



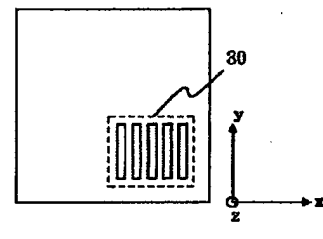
【図4】



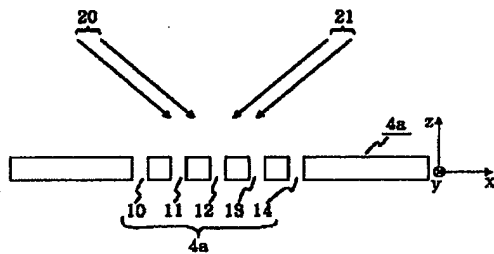
【図6】



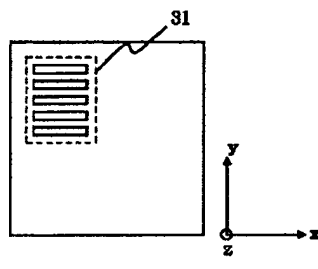
【図7】



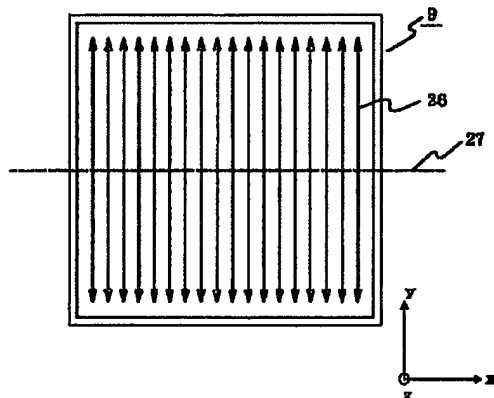
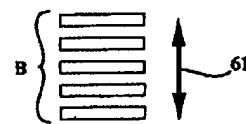
【図5】



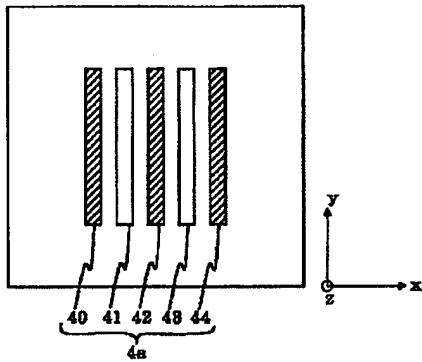
【図8】



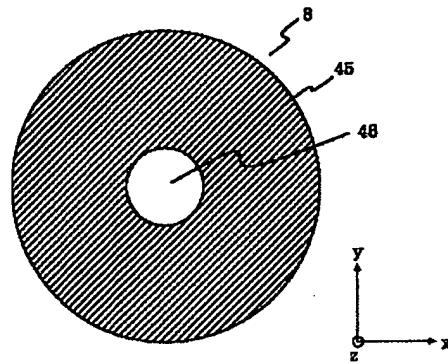
【図16】



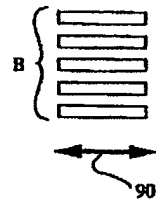
【図9】



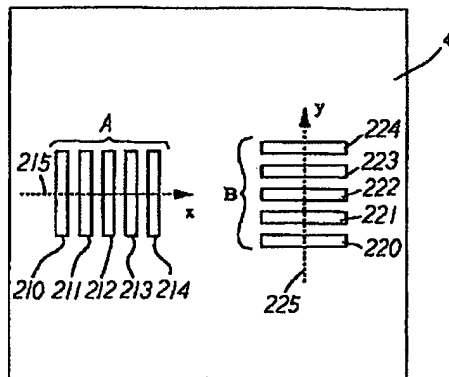
【図10】



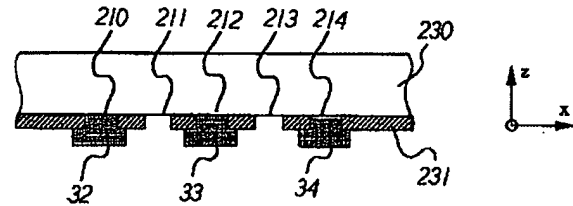
【図19】



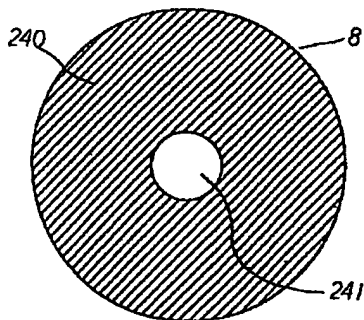
【図11】



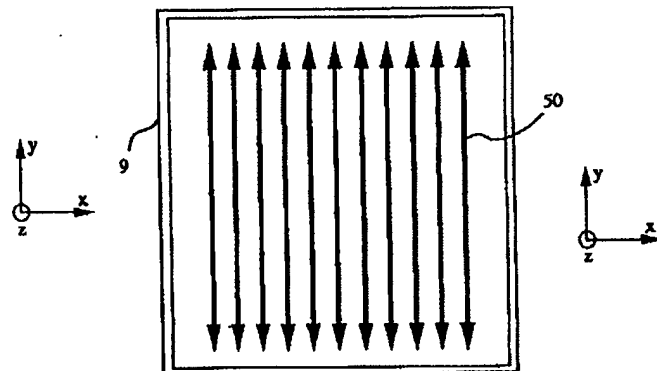
【図12】



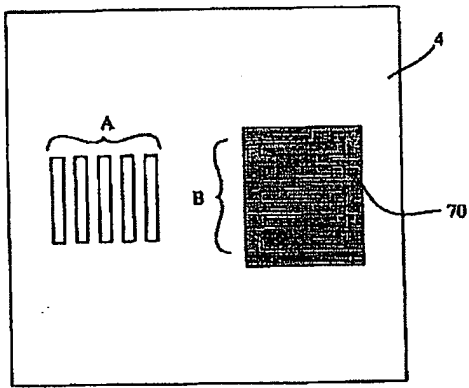
【図13】



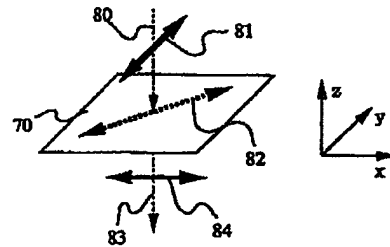
【図14】



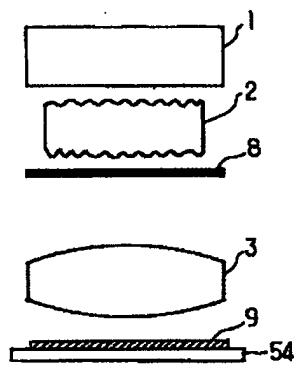
【図17】



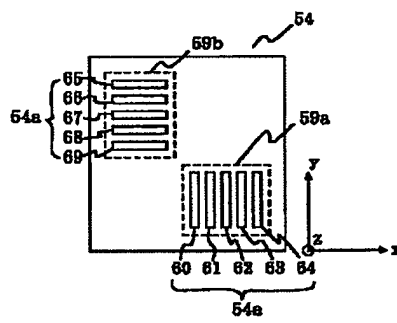
【図18】



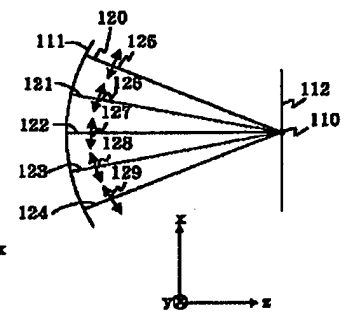
【図20】



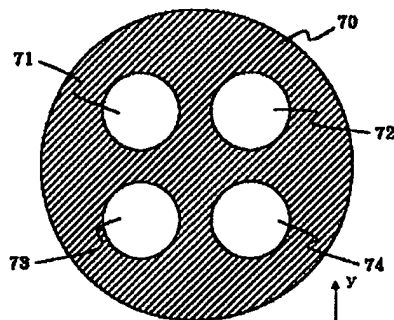
【図21】



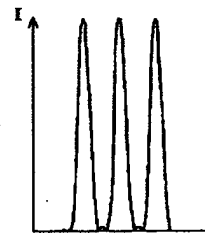
【図27】



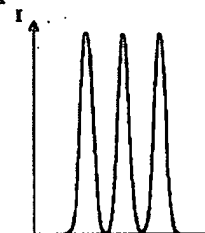
【図22】



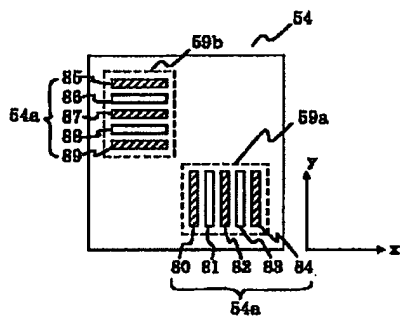
【図28】



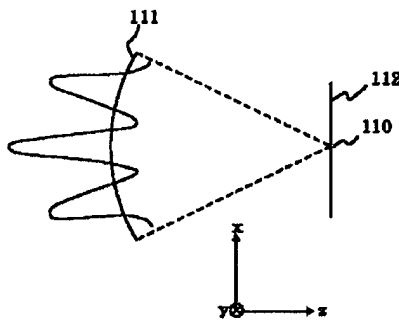
【図29】



【図23】

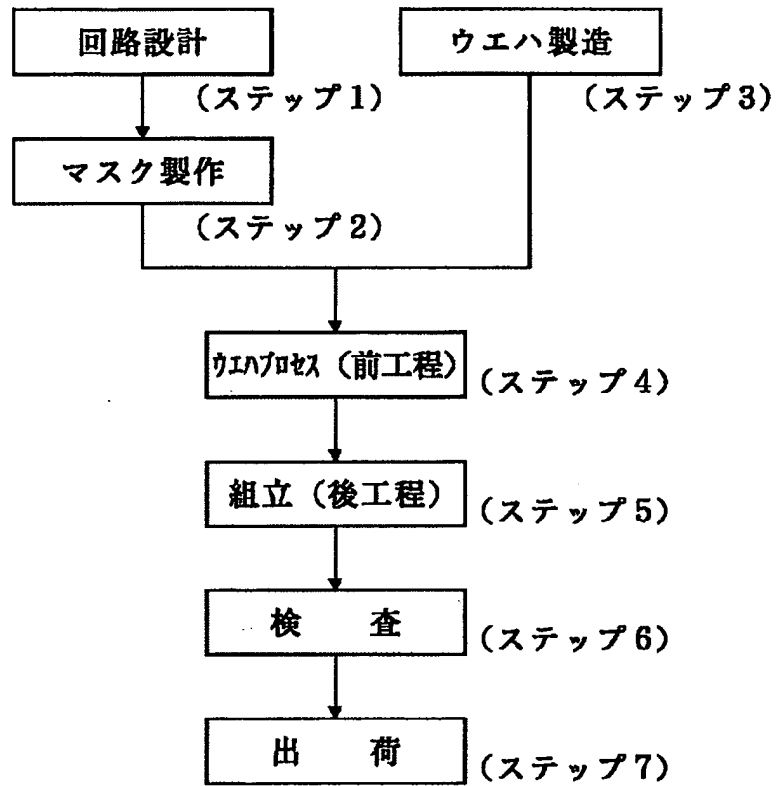


【図26】

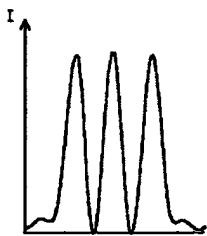


【図24】

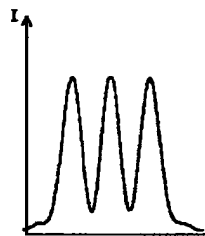
## 半導体デバイス製造フロー



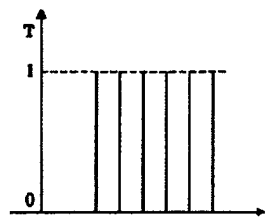
【図30】



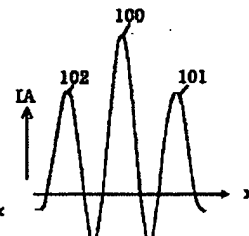
【図31】



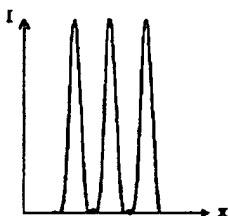
【図32】



【図33】

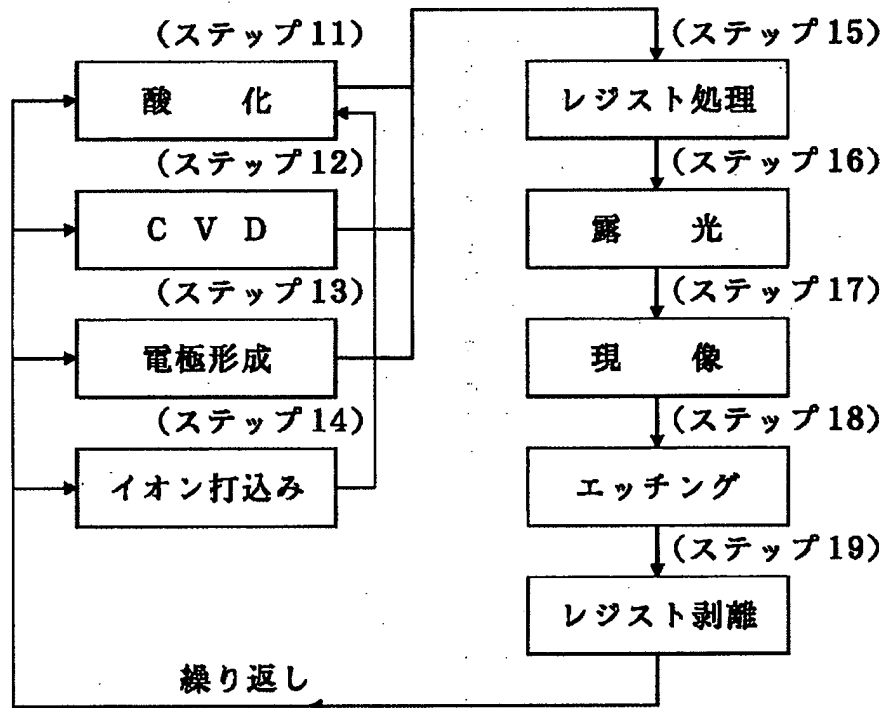


【図34】

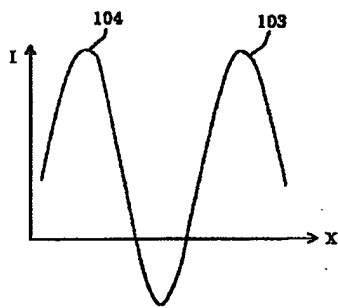


【図25】

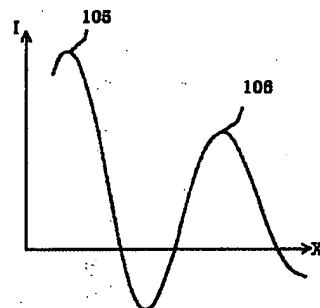
## ウエハプロセス



【図35】



【図36】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>  
G 1 1 B 5/31

識別記号 庁内整理番号  
M 8947-5D

F I

技術表示箇所